



TUGAS AKHIR - RE141581

APLIKASI *SEQUENCING BATCH BIOFILTER GRANULAR REACTOR* (SBBGR) PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT DALAM SKALA LABORATORIUM

NADYA ESSA
3313100083

DOSEN PEMBIMBING
Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR – RE 141581

**APLIKASI *SEQUENCING BATCH BIOFILTER*
GRANULAR REACTOR (SBBGR) PADA
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT
DALAM SKALA LABORATORIUM**

**NADYA ESSA
NRP. 3313100083**

**Dosen Pembimbing
Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



FINAL PROJECT – RE 141581

**LAB-SCALE APPLICATION OF SEQUENCING
BATCH BIOFILTER GRANULAR REACTOR
(SBBGR) ON HOSPITAL WASTEWATER
TREATMENT**

**NADYA ESSA
NRP. 3313100083**

**SUPERVISOR
Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D.**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

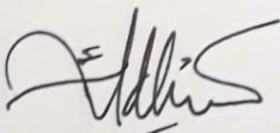
**APLIKASI SEQUENCING BATCH BIOFILTER
GRANULAR REACTOR (SBBGR) PADA
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT
DALAM SKALA LABORATORIUM**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh
Nadya Essa
NRP. 3313100083

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730601 200003 1 001



APLIKASI SEQUENCING BATCH BIOFILTER GRANULAR REACTOR (SBBGR) PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT DALAM SKALA LABORATORIUM

Nama Mahasiswa : Nadya Essa
NRP : 3313100083
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Limbah cair rumah sakit adalah semua air buangan termasuk tinja yang berasal dari kegiatan rumah sakit, yang kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan beracun, dan radio aktif serta darah yang berbahaya bagi kesehatan. Untuk itu dibutuhkan skema pengolahan kompleks yang berdasarkan variasi langkah bertahap agar mendapatkan efluen pengolahan limbah yang efektif.

Pada penelitian ini digunakan dua variabel penelitian yaitu variasi luas permukaan media *attached growth* dan variasi durasi aerasi. Variasi luas permukaan media *attached growth* yaitu 3,6; 4,4; dan 5,3 m². Variasi durasi aerasi yaitu selama 8; 12; dan 18 jam. Pada penelitian ini digunakan reaktor skala laboratorium. Reaktor yang digunakan menggunakan aliran *upflow*. Penelitian pendahuluan yang dilakukan adalah *seeding* dan aklimatisasi bakteri dengan menganalisis karakteristiknya agar sesuai. Dan juga dilakukan analisis karakteristik awal dari air limbah rumah sakit. Analisa dilakukan sesuai metode SNI.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa nilai efisiensi penurunan COD hingga 77,3 %, efisiensi penurunan NH₃-N hingga 90,04 %, dan efisiensi penurunan PO₄ hingga 64,61% dari limbah cair rumah sakit yang diolah menggunakan *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR). Selama penelitian digunakan limbah asli dari inlet IPAL rumah sakit.

Kata kunci : *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR), Limbah Cair, *Attached Growth*, Aerasi, Bioball.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAB-SCALE APPLICATION OF SEQUENCING BATCH BIOFILTER GRANULAR REACTOR (SBBGR) ON HOSPITAL WASTEWATER TREATMENT

ABSTRACT

Hospital wastewater was everything that is left from any activities in the hospital, including human waste, which may still be containing microorganism, toxic waste, radioactive, and blood that could do harm to human health. Complex processing based on variation of step is needed for us to get an effective effluent.

Variation of attached growth material surface area and variation of aeration duration are used on this research as the main variable. Variation of attached growth material surface area are 3,6; 4,4; dan 5,3 m². While variation of aeration duration are 8; 12; and 18 hours. This reactor using up-flow system. Preliminary test of this research includes seeding and bacteria acclimatization, due to importance to know the characteristic of the hospital wastewater. Corresponding analysis that used was based on SNI method.

Result from this research showed removal efficiency of COD reached 77,3 %, removal efficiency of NH₃-N reached 90,4 %, and removal efficiency of PO₄ reached 64,61 % from the hospital wastewater that is processed with *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR). Wastewater that used in this research was taken from inlet of Wastewater Treatment Plant in a hospital.

Keyword: *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR), Wastewater, *Attached Growth*, Aeration, Bioball.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya sampaikan kepada Allah SWT karena atas Rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “**Aplikasi Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor pada Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit dalam Skala Laboratorium**”, dan penulis sampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan, dan ilmu yang diberikan
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng., Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, M.Sc .Ph.D. dan Bapak Alfian Purnomo, ST., MT. selaku dosen penguji tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya
3. Bapak dan Ibu Laboran Jurusan Teknik Lingkungan yang telah membantu dan memfasilitasi ketika di Laboratorium
4. Keluarga saya yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir saya
5. Badan Kesatuan Bangsa dan Politik (Bakesbangpol) Provinsi Jawa Timur yang membantu proses perijinan penelitian
6. RSUD Dr. Soetomo, khususnya Instalasi Sanitasi Lingkungan yang telah membantu dan memfasilitasi penelitian
7. Badan Kesatuan Bangsa dan Politik, dan Perlindungan Masyarakat (Bakesbangpol dan Linmas) Kota Surabaya yang membantu proses perijinan penelitian.
8. Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau (DKRTH) Kota Surabaya yang telah memfasilitasi penelitian
9. Teman-teman yang selalu memberikan semangat dan siap membantu saya

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 18 Mei 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air Limbah	5
2.1.1 Definisi Air Limbah	5
2.1.2 Sumber Air Limbah.....	5
2.2 Air Limbah Rumah Sakit	6
2.2.1 Dampak Air Limbah Rumah Sakit terhadap Lingkungan..	7
2.2.2 Dampak Air Limbah Rumah Sakit terhadap Kesehatan Masyarakat	8
2.2.3 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit.....	9
2.2.4 Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit	10
2.3 Rasio BOD/COD	11
2.3.1 Zonasi Rasio BOD/COD	12
2.4 Pengolahan Biologis Air Limbah	15

2.4.1	<i>Suspended Growth Process</i>	15
2.4.2	<i>Attached Growth Process</i>	16
2.5	Biofilter	22
2.5.1	Perhitungan Luas Media Bioball	23
2.5.2	Proses Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilter Tercelup	30
2.5.3	Sistem Suplai Udara dalam Proses Pengolahan Air Limbah dengan Biofilter Tercelup Aerobik	32
2.6	Granular	34
2.7	Reaktor Batch.....	34
2.8	<i>Seeding</i> dan Aklimatisasi Bakteri	35
2.8.1	<i>Seeding</i> atau Pembibitan Bakteri	35
2.8.2	Aklimatisasi Bakteri.....	35
2.8.3	Karakteristik Lumpur dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)	36
2.9	Kajian SBBGR	36
2.9.1	Proses yang Terjadi di dalam <i>Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor</i> (SBBGR)	39
2.9.2	SBBGR Skala Laboratorium yang Telah Dioperasikan..	39
2.10	Kajian Tipe Reaktor Sejenis SBBGR (Reaktor Model <i>Batch</i> dan <i>Sequencing</i>)	43
2.10.1	<i>Sequencing Batch Reactor</i> (SBR)	43
2.9.2	<i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR).....	44
2.11	Aliran <i>Upflow</i>	46
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		49
3.1	Gambaran Umum	49
3.2	Kerangka Penelitian	49

3.3	Studi Literatur	49
3.4	Ide Penelitian	50
3.5	Persiapan Alat dan Bahan	53
3.5.1	Persiapan Alat	53
3.5.2	Persiapan Bahan.....	54
3.6	Penelitian Pendahuluan	54
3.6.1	Uji Karakteristik Limbah Awal	54
3.6.2	<i>Seeding</i> dan Aklimatisasi Bakteri.....	55
3.7	Pelaksanaan Penelitian	55
3.7.1	Metode Perhitungan dan Prosedur Perhitungan	55
3.8	Variasi Penelitian	56
3.9	Uji Parameter.....	57
3.10	Analisis Data dan Pembahasan.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		59
4.1	Analisis Awal Karakteristik Air Limbah IPAL Gedung Diagnostik Center (GDC) RSUD Dr. Soetomo dan Lumpur IPLT Keputih	59
4.2	<i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	62
4.3	Pelaksanaan Penelitian (Running).....	66
4.3.1	Kinerja SBBGR dalam Penyisihan Konsentrasi Organik (COD), Nitrogen-Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan Fosfat (PO_4)	69
4.3.2	Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal Konsentrasi Organik (COD), Nitrogen Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan Fosfat (PO_4)	75
4.3.3	Pengaruh Durasi Aerasi terhadap Removal Konsentrasi Organik (COD), Nitrogen Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan Fosfat (PO_4)	83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		91

5.1	Kesimpulan	91
5.2	Saran	92
	DAFTAR PUSTAKA.....	93
	LAMPIRAN.....	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Zona Segitiga untuk Rasio BOD/COD	14
Gambar 2. 2	Bioball.....	24
Gambar 2. 3	Tampak Atas Bioball	25
Gambar 2. 4	Tampak Samping Bioball	25
Gambar 2. 5	Tampak Atas Bioball (asumsi 1 sisi diputar 45') ..	26
Gambar 2. 6	Bagian Tengah Bioball	26
Gambar 2. 7	Tampak Tengah Bioball	27
Gambar 2. 8	Ilustrasi Kisi.....	28
Gambar 2. 9	Bagian Dalam Bioball.....	29
Gambar 2.10	Mekanisme Proses Metabolisme di dalam Sistem Biofilm.....	31
Gambar 2.11	Mekanisme Penghilangan Ammonia di dalam Proses Biofilter	32
Gambar 2. 12	Diagram SBBGR Skala Labratorium	40
Gambar 2. 13	SBBGR Skala Laboratorium	40
Gambar 2. 14	(kiri) Kondisi Aerobik pada MBBR, (kanan) Kondisi Anoksik.....	45
Gambar 2. 15	Media Biofilm Kaldness 1(K1)	46
Gambar 3. 1	Kerangka Penelitian.....	52

Gambar 3. 2 Gambar Skema Reaktor 54

Gambar 4. 1	Fase-Fase Proses Pertumbuhan Biomassa dengan Perubahan Substrat dan Biomassa Dibandingkan dengan Waktu.....	65
Gambar 4. 2	Inlet IPAL RSUD Dr. Soetomo	67
Gambar 4. 3	Sumber Inlet IPAL GDC RSUD DR. SOETOMO .	68
Gambar 4. 4	Reaktor SBBGR yang sedang beroperasi	69
Gambar 4. 5	Kinerja SBBGR terhadap Removal COD	70
Gambar 4. 6	Kinerja SBBGR terhadap Removal $\text{NH}_3\text{-N}$	72
Gambar 4. 7	Kinerja SBBGR terhadap Removal PO_4	74
Gambar 4. 8	Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal COD	76
Gambar 4. 9	Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal $\text{NH}_3\text{-N}$	78
Gambar 4. 10	Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal PO_4	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Karakteristik Limbah Cair di Inlet IPAL Sentral RSUD Dr. Soetomo	9
Tabel 2.2	Parameter Efluen Limbah Rumah Sakit berdasarkan Permen LH No. 5 Th. 2014	10
Tabel 2. 3	Parameter Efluen Limbah Rumah Sakit berdasarkan Pergub Jatim No. 72 Th. 2013	11
Tabel 2. 4	Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter	23
Tabel 2. 5	Karakteristik Lumpur Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja.....	36
Tabel 2. 6	Kondisi Operatif Reaktor selama <i>start-up</i> (periode A) dan kondisi <i>steady state</i> (periode B).....	41
Tabel 3. 1	Detail Dimensi Reaktor SBBGR.....	53
Tabel 3. 2	Variasi Penelitian.....	56
Tabel 4. 1	Karakteristik Awal COD, BOD, dan rasio BOD/COD Air Limbah IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo	60
Tabel 4. 2	Karakteristik Awal Nitrogen Amonia dan Fosfat Air Limbah IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo	61
Tabel 4. 3	Uji Durasi Penyimpanan Air Limbah IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo	62
Tabel 4. 4	Persen Removal pada Tahap Aklimatisasi Lumpur	62

Tabel 4. 5	Analisis MLSS pada Tahap Aklimatisasi	63
Tabel 4. 6	Analisis Lanjutan MLSS pada Tahap Aklimatisasi..	64

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Pasal 1 ayat 26 menjelaskan bahwa fasilitas pelayanan kesehatan adalah suatu alat dan/atau tempat yang digunakan untuk menyelenggarakan upaya pelayanan kesehatan, baik promotif, preventif, kuratif maupun rehabilitatif yang dilakukan oleh pemerintah, pemerintah daerah, dan/atau masyarakat.

Kegiatan rumah sakit menghasilkan berbagai macam limbah yang berupa benda cair, padat, dan gas. Pengelolaan limbah rumah sakit adalah bagian dari kegiatan penyehatan lingkungan di rumah sakit yang bertujuan untuk melindungi masyarakat dari bahaya pencemaran lingkungan yang bersumber dari limbah rumah sakit. Unsur-unsur yang terkait dengan penyelenggaraan kegiatan pelayanan rumah sakit (termasuk pengelolaan limbahnya), yaitu: pemrakarsa atau penanggung jawab rumah sakit; pengguna jasa pelayanan rumah sakit; para ahli, pakar, dan lembaga yang dapat memberikan saran-saran; para pengusaha dan swasta yang dapat menyediakan sarana dan fasilitas yang diperlukan (Giyatmi, 2003). Limbah cair rumah sakit adalah semua air buangan termasuk tinja yang berasal dari kegiatan rumah sakit, yang kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan beracun, dan radioaktif serta darah yang berbahaya bagi kesehatan (Depkes RI, 2006).

Jika Fasilitas kesehatan melakukan:

- a. pengolahan limbah domestik, wajib memenuhi baku mutu air limbah sebagaimana tercantum dalam lampiran;
- b. pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun, wajib memenuhi baku mutu air limbah sebagaimana tercantum dalam lampiran;
- c. melakukan pengolahan limbah domestik dan limbah bahan berbahaya dan beracun, wajib memenuhi baku mutu air limbah sebagaimana tercantum dalam lampiran;

(Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014)

Salah satu alternatif untuk mengolah air limbah adalah *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR). SBBGR merupakan sistem yang dikembangkan pada tahun 2011 oleh *Water Research Institute* di Italia. SBBGR dapat menunjukkan hasil pengolahan biologis yang optimal untuk air limbah yang sulit diolah bahkan untuk air limbah tekstil. Teknologi inovatif ini berdasarkan biofilter tenggelam yang dioperasikan dalam sistem *batch*, yang menggabungkan semua kelebihan dari suatu granular *Sequencing Batch Reactor* (SBR) dengan kemampuan penyaringan yang tinggi, sehingga menghindari adanya *Suspended Solid* (SS) pada efluen. Pada SBBGR, biomassa tidak mengendap seperti di SBR, tetapi *confined* di dalam zona khusus, yang disebut *bed*, sehingga suatu *secondary settler* tidak lagi dibutuhkan. Retensi biomassa dapat menjadi lebih besar pada reaktor (sampai dengan 40 kg/m³) sehingga diperoleh reduksi produksi lumpur yang signifikan (Lotito, 2011).

Dalam menggunakan SBBGR sebagai alternatif pengolahan perlu ditentukan air limbah dengan karakteristik tertentu sehingga dapat diperoleh efisiensi yang optimal. Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan menunjukkan hasil berbeda dalam penggunaan SBBGR pada limbah tekstil dan limbah tekstil yang dicampur oleh limbah domestik. Hal ini dikarenakan rasio BOD/COD yang terlalu rendah pada limbah tekstil.

Berdasarkan latar belakang tersebut, pada penelitian ini akan dianalisis aplikasi *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR) untuk pengolahan limbah cair rumah sakit. Akan dilihat pengaruh variasi luas permukaan media *attached growth* dan variasi durasi aerasi yang digunakan. Tingkat efisiensi yang diperoleh dapat dijadikan pertimbangan dalam aplikasi *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR) untuk pengolahan limbah cair rumah sakit.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kinerja SBBGR dalam menurunkan konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan (PO_4) fosfat pada pengolahan air limbah rumah sakit?
2. Bagaimana pengaruh variasi luas permukaan media *attached growth* pada SBBGR terhadap removal konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan (PO_4) fosfat pada pengolahan air limbah rumah sakit?
3. Bagaimana pengaruh variasi durasi aerasi pada SBBGR terhadap removal konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan (PO_4) fosfat pada pengolahan air limbah rumah sakit?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan kinerja SBBGR dalam menurunkan konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan (PO_4) fosfat pada pengolahan air limbah rumah sakit.
2. Menentukan pengaruh variasi luas permukaan media *attached growth* pada SBBGR terhadap removal konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan (PO_4) fosfat pada pengolahan air limbah rumah sakit.
3. Menentukan pengaruh variasi durasi aerasi pada SBBGR terhadap removal konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan (PO_4) fosfat pada pengolahan air limbah rumah sakit.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan alternatif untuk aplikasi teknologi pengolahan limbah cair rumah sakit melalui pengolahan biologis (gabungan antara *attached growth* dan *suspended growth*) berupa *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR). Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi secara ilmiah mengenai *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR)

dalam menurunkan konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3 - \text{N}$), dan fosfat (PO_4) yang terdapat pada limbah rumah sakit.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Limbah cair yang digunakan yaitu limbah cair dari RSUD Dr. Soetomo, Surabaya yang berasal dari inlet IPAL di Gedung Diagnostik Center (GDC).
2. Lumpur yang digunakan yaitu lumpur IPLT Keputih yang berasal dari *Returned Activated Sludge* (RAS) Unit *Clarifier*.
3. Pada reaktor SBBGR berupa pengolahan gabungan secara *attached growth* dan *suspended growth*.
4. Reaktor ini bekerja secara *batch*.
5. Parameter utama dalam penelitian ini adalah kadar organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3 - \text{N}$), dan fosfat (PO_4), sedangkan parameter tambahan yang digunakan adalah pH, MLSS, dan granular.
6. Media yang digunakan adalah media bioball dengan luas spesifik $444 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah

2.1.1 Definisi Air Limbah

Air limbah didefinisikan sebagai “Kombinasi cairan atau air limbah yang membawa sampah dari perumahan, perkantoran, dan perdagangan serta perindustrian bersama dengan air tanah, air permukaan, dan air hujan yang mungkin ada. Sebagian besar pemanfaatan air bersih yang digunakan manusia akan menjadi air limbah. Sekitar 70% hingga 80% dari penggunaan air bersih, akan menjadi air limbah. Semakin banyak kegiatan yang dilakukan, maka semakin besar pula volume air limbah yang akan dihasilkan (Metcalf dan Eddy, 2003).

Air limbah didefinisikan sebagai sisa dari suatu usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair (Undang-Undang Nomor 82 Tahun 2001).

2.1.2 Sumber Air Limbah

Air limbah berasal dari beberapa sumber kegiatan, diantaranya:

- Rumah tangga (*Domestic Wastewater*)
Air limbah yang berasal dari perumahan, perdagangan, perkantoran dan fasilitas yang sejenis.
- Perindustrian (*Industrial Wastewater*)
Air limbah yang berasal dari kegiatan industry, yang dapat berupa air limbah proses, air cucian alat, air kondensat, ataupun sumber lainnya.
- Infiltrasi atau resapan air hujan (*Infiltration/ Inflow*)
Infiltrasi berasal dari air yang masuk melalui sistem pengumpulan baik secara langsung maupun tidak langsung. Air yang masuk melalui kebocoran sambungan, retak dan pecah, atau akibat dinding yang berpori. Sedangkan *inflow* berasal dari saluran air hujan (*catch*

basin) yang terhubung dengan sistem pengumpulan air limbah, dari atap, pondasi dan lantai dasar saluran, atau melalui tutup *manhole*.

- Air hujan (*Stromwater*)
Limpasan air hujan berasal dari air hujan yang turun (Metcalf & Eddy, 2003)

2.2 Air Limbah Rumah Sakit

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 340/MENKES/PER/III/2010, rumah sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat.

Sejalan dengan perkembangan penduduk yang sangat pesat, lokasi rumah sakit yang dulunya jauh dari daerah pemukiman penduduk tersebut sekarang umumnya telah berubah dan berada di tengah pemukiman penduduk yang cukup padat, sehingga masalah pencemaran akibat limbah rumah sakit baik limbah padat atau limbah cair sering menjadi pencetus konflik antara pihak rumah sakit dengan masyarakat yang ada di sekitarnya (Said, 2012).

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor. 82 Tahun 2001, setiap penanggung jawab usaha dan/atau kegiatan yang membuang air limbah ke air atau sumber air wajib mencegah dan menanggulangi terjadinya pencemaran air.

Dengan berdasarkan peraturan tersebut, maka rumah sakit yang dibangun diwajibkan menyediakan sarana limbah padat maupun limbah cair. Namun dengan semakin mahalnya harga tanah, serta besarnya tuntutan masyarakat akan kebutuhan peningkatan sarana penunjang pelayanan kesehatan yang baik, dan di lain pihak peraturan pemerintah tentang pelestarian lingkungan juga semakin ketat, maka pihak rumah sakit umumnya menempatkan sarana pengolahan limbah pada skala prioritas yang rendah. Akibatnya, sering terjadi benturan perbedaan kepentingan antar pihak rumah sakit dengan masyarakat atau pemerintah. Dengan adanya kebijakan legal yang mengharuskan pihak rumah sakit

agar menyediakan fasilitas pengolahan limbah yang dihasilkan, mengakibatkan biaya investasi maupun biaya operasional menjadi lebih besar (Herlambang, 2012).

Air limbah yang berasal dari limbah rumah sakit merupakan salah satu sumber pencemaran air yang sangat potensial. Hal ini disebabkan karena air limbah rumah sakit mengandung senyawa organik yang cukup tinggi juga kemungkinan mengandung senyawa-senyawa kimia lain serta mikro-organisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit terhadap masyarakat di sekitarnya. Oleh karena potensi dampak air limbah rumah sakit terhadap kesehatan masyarakat sangat besar, maka setiap rumah sakit diharuskan mengolah air limbahnya sampai memenuhi persyaratan standar yang berlaku (Herlambang, 2012).

Dengan adanya peraturan yang mengharuskan bahwa setiap rumah sakit harus mengolah air limbah sampai standar yang diijinkan, maka kebutuhan akan teknologi pengolahan air limbah rumah sakit khususnya yang murah dan hasilnya baik perlu dikembangkan. Hal ini mengingat bahwa kendala yang paling banyak dijumpai yakni teknologi yang ada saat ini masih cukup mahal, sedangkan di lain pihak dana yang tersedia untuk membangun unit alat pengolah air limbah tersebut sangat terbatas sekali. Untuk rumah sakit dengan kapasitas yang besar umumnya dapat membangun unit alat pengolah air limbahnya sendiri karena mereka mempunyai dana yang cukup. Tetapi untuk rumah sakit tipe kecil sampai dengan tipe sedang umumnya sampai saat ini masih membuang air limbahnya ke saluran umum tanpa pengolahan sama sekali (Herlambang, 2012).

2.2.1 Dampak Air Limbah Rumah Sakit terhadap Lingkungan

Air limbah yang tidak menjalani pengolahan yang benar tentunya dapat menimbulkan dampak yang tidak diinginkan. Dampak tersebut, antara lain :

1. Kontaminasi dan pencemaran pada air permukaan dan badan-badan air yang digunakan oleh manusia.

2. Mengganggu kehidupan dalam air, mematikan hewan dan tumbuhan air.
3. Menimbulkan bau (sebagai hasil dekomposisi zat anaerobik dan zat anorganik).
4. Menghasilkan lumpur yang dapat mengakibatkan pendangkalan air sehingga terjadi penyumbatan yang dapat menimbulkan banjir (Chandra, 2006).

2.2.2 Dampak Air Limbah Rumah Sakit terhadap Kesehatan Masyarakat

Selain memberikan kesembuhan dan peningkatan derajat kesehatan masyarakat, kegiatan rumah sakit juga memiliki hasil sampingan yaitu berupa buangan baik buangan padat, cairan, dan gas yang banyak mengandung kuman patogen, zat kimia yang beracun, zat radioaktif, dan lain-lain (Adisasmito, 2007)

Apabila pengolahan bahan buang ini tidak dilakukan secara saniter, niscaya akan menyebabkan gangguan terhadap kelompok masyarakat di sekitar rumah sakit dan lingkungan baik dalam maupun luar. Kelompok masyarakat yang mempunyai resiko untuk mendapat gangguan atau penyakit akibat buangan RS ini adalah:

- Kelompok masyarakat yang datang ke rumah sakit untuk memperoleh pengobatan dan perawatan RS. Kelompok ini merupakan kelompok yang paling rentan terhadap kemungkinan untuk mendapat infeksi nosokomial di RS.
- Karyawan RS yang dalam melaksanakan tugas sehari-harinya selalu akan kontak dengan orang sakit yang merupakan sumber penyakit serta sumber agen penyakit lainnya.
- Pengunjung atau pengantar orang sakit ke RS, karena berada dalam lingkungan RS maka mereka akan terpapar dengan keadaan lingkungan RS tersebut.
- Masyarakat yang bermukim di sekitar RS, hal ini dapat terjadi apabila RS membuang limbahnya tanpa mengikuti prosedur yang berlaku sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan di sekitarnya yang berdampak pada masyarakat lingkungan rumah sakit tersebut (Putri, 2009).

2.2.3 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit

Di dalam pengelolaan air limbah rumah sakit, maka yang perlu diperhatikan adalah sistem saluran pembuangan air. Saluran air limbah dan saluran air hujan harus dibuat secara terpisah. Air limbah rumah sakit baik yang berasal dari buangan kamar mandi, air bekas cucian, air buangan dapur serta air limbah klinis dikumpulkan ke bak kontrol dengan saluran atau pipa tertutup, selanjutnya dialirkan ke unit pengolahan air limbah. Setelah dilakukan pengolahan, air hasil olahannya dibuang ke saluran umum. Untuk air hujan dapat langsung dibuang ke saluran umum melalui saluran terbuka.

Dari hasil analisa kimia terhadap beberapa contoh air limbah rumah sakit yang ada di DKI Jakarta menunjukkan bahwa konsentrasi senyawa pencemar sangat bervariasi misalnya, BOD 31,52 - 675,33 mg/l, amoniak 10,79 - 158,73 mg/l, deterjen (MBAS) 1,66 - 9,79 mg/l. Hal ini mungkin disebabkan karena sumber air limbah juga bervariasi sehingga faktor waktu dan metoda pengambilan contoh sangat mempengaruhi besarnya konsentrasi. Secara lengkap karakteristik air limbah rumah sakit dapat dilihat pada tabel 1. Dari tabel tersebut terlihat bahwa air limbah rumah sakit jika tidak diolah sangat berpotensi untuk mencemari lingkungan. Selain pencemaran secara kimiawi, air limbah rumah sakit juga berpotensi untuk mencemari lingkungan secara bakteriologis (Herlambang, 2012). Karakteristik air limbah rumah sakit dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Karakteristik Limbah Cair di Inlet IPAL Sentral RSUD Dr. Soetomo

Parameter	Unit	Hasil					
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
BOD ₅	mg/l	45,8	37,5	27,1	53,8	37,7	38,8
COD	mg/l	112,5	94,3	69,9	133,2	92,7	96,8
TSS	mg/l	41	61	48	53	41	60
NH ₂ Bebas	mg/l	0,541	0,6	0,343	0,586	0,389	0,713

PO4 (Ortho)	mg/l	1,46	1,3	1,37	1,47	1,66	1,23
Suhu	celcius	29	29	29	29,5	29,5	29,5
pH	-	7,4	7,5	7,4	7,5	7,4	7,4
Kuman Coli	ribu MPN/100 ml	182	85	25	350	35	124

(Sumber : Hasil Pemeriksaan Limbah Cair di Laboratorium UPT BLH Provinsi Jawa Timur Semester 1 Tahun 2016)

2.2.4 Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit

Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan fasilitas pelayanan kesehatan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 adalah sebagai berikut.

Tabel 2.2 Parameter Efluen Limbah Rumah Sakit berdasarkan Permen LH No. 5 Th. 2014

Parameter	Konsentrasi Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
<i>Fisika</i>		
Suhu	38	celcius
Zat padat terlarut	2000	mg/L
Zat padat tersuspensi	200	mg/L
<i>Kimia</i>		
pH	6-9	
BOD	50	mg/L
COD	80	mg/L
TSS	30	mg/L
Minyak dan Lemak MBAS	10	mg/L
Amonia Nitrogen	10	mg/L
Total Coliform	5000	(MPN / 100 ml)

(Sumber : Lampiran Permen LH No. 05 Th. 2014)

Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan rumah sakit sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Parameter Efluen Limbah Rumah Sakit berdasarkan Pergub Jatim No. 72 Th. 2013

BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ ATAU KEGIATAN RUMAH SAKIT	
Volume Limbah Cair Maximum 500 L / (orang.hari)	
Parameter	Kadar Maximum (mg/l)
Suhu	30
pH	6-9
BOD	30
COD	80
TSS	30
NH ₃ -N bebas	0,1
PO ₄	2
MPN-Kuman Golongan Koli / 100 ml	10000

(Sumber : Lampiran Pergub Jatim No. 72 Th. 2013)

2.3 Rasio BOD/COD

Beberapa senyawa organik mengandung material yang dapat dihitung dalam dua parameter sederhana, yaitu *biological oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD). BOD diketahui sebagai uji standar untuk mengetahui kadar konsentrasi kebutuhan oksigen yang digunakan mikroba untuk mendegradasi senyawa organik dalam suatu periode waktu tertentu, biasanya selama 5 hari tetapi dapat diperpanjang hingga 30 hari. COD adalah uji standar pada air untuk mengonsumsi oksigen di dalam bentuk kalium dikromat selama degradasi senyawa organik dan senyawa kimia anorganik seperti amonia dan nitrit dalam waktu beberapa jam. Kalium dikromat tidak secara spesifik untuk mengonsumsi oksigen baik organik maupun anorganik, sehingga kedua senyawa

tersebut termasuk dalam COD. Sebagai hasilnya, rasio BOD/COD harus kurang dari atau sama dengan 1,0.

Dalam menghadapi material yang belum terolah seperti air baku, air limbah, dan air lindi, pada satu sisi, rasio BOD/COD lebih tinggi dari 0,5. Sampel air lindi dari *landfill* yang baru beroperasi mengandung konsentrasi BOD dan COD yang tinggi, yaitu 60.000 mg/L dan 130.000 mg/L secara berturut-turut. Rasio BOD/COD yang tinggi dapat ditemukan di air alami, yang mengandung BOD kurang dari 10 mg/L dan COD kurang dari 20 mg/L untuk pergantian tahunan. Di sisi lainnya, rasio BOD/COD kurang dari 0,5. Rasio BOD/COD yang rendah dapat ditemukan di air limbah industri, yang mengandung konsentrasi BOD yang rendah kurang dari 100 mg/L dan COD yang tinggi lebih dari 800 mg/L. Rasio BOD/COD yang rendah dapat juga ditemukan di air laut, yang mengandung konsentrasi BOD dan COD yang rendah, yaitu kurang dari 14 mg/L dan 46 mg/L secara berturut-turut. Oleh karena itu, rasio BOD/COD tidak berarti jika tidak diketahui tujuan penggunaannya (Ganjar Samudro dan Sarwoko Mangkoedihardjo, 2010).

2.3.1 Zonasi Rasio BOD/COD

Rasio BOD/COD tidak lebih dari suatu indikator terhadap pengaruh hasil senyawa organik yang mengandung material (terutama air, air limbah, air lindi, kompos, dan material sejenis) di dalam komponen lingkungan dari alam dan lingkungan buatan (sumber air, *wetland*, tanah, *landfill* sampah, lahan agrikultural, kolam stabilisasi, pengolahan air dan air limbah, dan komponen sejenis). Berdasarkan rasio BOD/COD dapat diklasifikasikan ke beberapa zona yang kandungan senyawa organik nya akan diolah atau tidak. Penjelasan mengenai klasifikasi dan strategi untuk menyelesaikan permasalahan rasio BOD/COD dapat dilihat di bawah ini.

- Zona toksik

Zona toksik berarti batas senyawa organik yang berpotensi memiliki ketidakcocokan terhadap makhluk hidup. Makhluk hidup yang terdiri dari mikroba, tumbuhan, dan tumbuhan air. telah diketahui bahwa biodegradabilitas adalah rasio konsentrasi massa BOD/COD yaitu kemampuan dari suatu zat yang dapat berubah menjadi zat yang lebih sederhana oleh bakteri. Rasio BOD/COD yang kurang dari 0,1 menunjukkan adanya porsi yang besar dari COD yang sulit terurai. Beberapa molekul organik tidak dapat terurai, seperti humus dan asam fulfik di dalam air lindi dari *landfill* yang juga dicirikan dengan sangat tingginya kadar garam terlarut, klorida, natrium, karbonat, dan amonia. Senyawa organik tersebut berkontribusi dalam menjadikan konsentrasi rasio BOD/COD yang rendah sehingga berada dalam zona toksik.

Berdasarkan penelitian dalam pengolahan biologis, fitoteknologi, dan pengolahan toksikologi dapat disimpulkan bahwa zona toksik untuk BOD dan COD untuk memastikan pengolahan lebih lanjut akan berjalan dengan beberapa variasi kondisi sebagai berikut:

1. Rasio BOD/COD maksimum adalah 0,1
2. Konsentrasi BOD minimum adalah 10 mg/L untuk pengolahan air, 100 mg/L untuk pengolahan dengan mikroba dan fitoteknologi, 50.000 mg/L untuk pengolahan alami.
3. Konsentrasi COD minimum adalah 50 mg/L untuk pengolahan air, 500 mg/L untuk pengolahan dengan mikroba dan fitoteknologi, 100.000 mg/L untuk pengolahan alami.

- Zona biodegradable

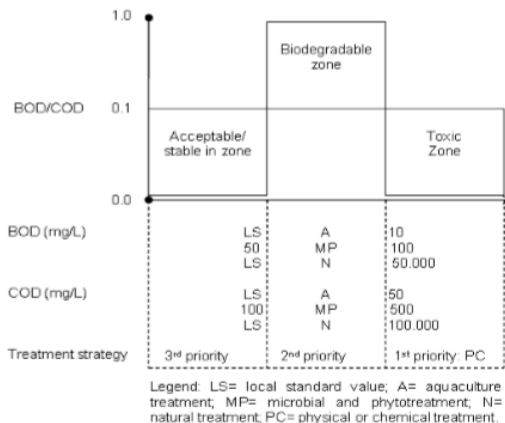
Zona biodegradable berarti batas senyawa organik yang dapat diuraikan oleh mikroba dalam alam dan kondisi buatan. Sebagaimana zona toksik telah diidentifikasi, zona biodegradable diidentifikasi sebagai berikut:

1. Batas rasio BOD/COD diantara 0,1 dan 1,0. Pada zona ini dapat dipisah menjadi beberapa tingkat, yaitu

- biodegradable rendah, biodegradable cukup, dan biodegradable tinggi yang membutuhkan studi lebih lanjut.
2. Konsentrasi maksimum BOD adalah 10 mg/L untuk pengolahan air, 100 mg/L untuk pengolahan dengan mikroba dan fitoteknologi, 50.000 mg/L untuk pengolahan alami.
 3. Konsentrasi COD maksimum adalah 50 mg/L untuk pengolahan air, 500 mg/L untuk pengolahan dengan mikroba dan fitoteknologi, 100.000 mg/L untuk pengolahan alami.

- Zona stabil

Zona stabil berarti batas senyawa organik yang dapat dibuang secara aman ke lingkungan tanpa pengaruh yang signifikan terhadap kualitas keseluruhan lingkungan. Zona stabil ini berhubungan dengan standar untuk komponen lingkungan yang sangat beragam di seluruh Negara. Bagaimanapun, zona stabil dapat dikategorikan sebagai zona biodegradable yang rendah. Diantara zona stabil, senyawa organik mungkin akan mengalami proses penguraian pada laju yang lambat.



Gambar 2. 1 Zona Segitiga untuk Rasio BOD/COD

- Strategi pengolahan

Dengan menggunakan tiga zona tersebut, strategi untuk menyelesaikan masalah yang terjadi dapat diterapkan. Contohnya, diasumsikan bahwa senyawa organik yang terkandung dalam air limbah berada dikategorikan dalam nilai BOD 500mg/L, COD 5.000 mg/L, dan rasio BOD/COD adalah 0,1. Air limbah tersebut akan diolah secara pengolahan mikroba aerobik. Untuk pengolahan dengan mikroba, karakteristik air limbah berada dalam zona toksik. Prioritas utama yaitu untuk merubah air limbah toksik menjadi air limbah yang biodegradable. Perubahan tersebut dapat dicapai dengan metode pengolahan tertentu seperti pengolahan fisik atau pengolahan kimia untuk mencapai nilai BOD < 100 mg/L, COD < 500 mg/L dan rasio BOD/COD > 0,1. Setelah dilakukan pengolahan fisik atau pengolahan kimia tersebut, air limbah dapat diolah secara pengolahan biologis atau secara fitoteknologi untuk mencapai zona stabil yaitu zona yang dapat dibuang langsung ke lingkungan (Ganjar Samudro dan Sarwoko Mangkoedihardjo, 2010).

2.4 Pengolahan Biologis Air Limbah

Pada dasarnya, reaktor pengolahan secara biologi dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu:

1. Reaktor pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth reactor*).
2. Reaktor pertumbuhan melekat (*attached growth reactor*) (Soeparman dan Soeparmin, 2002).

2.4.1 *Suspended Growth Process*

Pada proses *suspended growth*, mikroorganisme yang berperan untuk pengolahan dipelihara di dalam *suspense liquid* dengan metode pencampuran yang sesuai. Banyak proses *suspended growth* yang digunakan pada pengolahan air limbah domestik dan industri yang dioperasikan dengan adanya konsentrasi oksigen terlarut (aerobik), tetapi terdapat juga aplikasi proses *suspended*

growth yang digunakan tanpa adanya oksigen (anaerobik), contohnya untuk air limbah industri dengan konsentrasi dan lumpur organik yang tinggi. Proses *suspended growth* yang paling umum digunakan untuk air limbah domestik adalah proses *activated-sludge* (Metcalf dan Eddy, 2003).

Proses *activated-sludge* dinamakan demikian karena prosesnya melibatkan produksi suatu massa aktif dari mikroorganisme yang mampu menstabilkan air limbah dalam kondisi aerobik. Di dalam tangki aerasi, waktu kontak disediakan untuk mencampurkan dan mengaerasi influen air limbah dengan suspensi mikroba, yang dimaksud sebagai *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) atau *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS). Peralatan mekanis digunakan untuk menjamin terjadinya *mixing* dan transfer oksigen ke dalam proses tersebut. *Mixed liquor* kemudian mengalir ke sebuah *clarifier* sebagai tempat terjadinya pengendapan suspensi mikroba dan terjadinya proses pengentalan. Biomassa yang mengendap, digambarkan sebagai lumpur aktif karena adanya mikroorganisme aktif, selanjutnya lumpur aktif tersebut dikembalikan ke tangki aerasi untuk proses biodegradasi materi organik dari influen air limbah. Sebagian padatan lumpur yang telah mengental akan dibuang setiap hari atau setiap periodik tertentu sebagai proses resirkulasi yang dihasilkan akibat kelebihan biomassa yang akan terakumulasi dengan padatan non-*biodegradable* yang terkandung dalam influen air limbah. Jika akumulasi padatan tidak dihilangkan, maka akan terbawa ke sistem efluen (Metcalf dan Eddy, 2003).

Keistimewaan dari proses *activated-sludge* adalah terbentuknya partikel flok, yang ukurannya berkisar dari 50-200 μm , yang dapat dihilangkan melalui pengendapan secara gravitasi, sehingga menghasilkan liquid yang relatif bening sebagai efluen. Khususnya, lebih dari 99% dari padatan tersuspensi dapat dihilangkan di *clarifier* (Metcalf dan Eddy, 2003).

2.4.2 Attached Growth Process

Pada proses *attached growth*, mikroorganisme yang berperan dalam konversi materi organik atau nutrien melekat pada materi *packing inert*. Materi organik atau nutrien yang akan dihilangkan

dari air limbah dialirkan melalui *attached growth* yang juga disebut biofilm. Materi packing yang digunakan pada proses *attached growth* dapat berupa batuan, pasir, bermacam-macam plastic, dan materi sintetis lainnya. Proses *attached growth* juga dapat dioperasikan secara aerobik maupun anaerobik. *Packing* dapat secara keseluruhan berada dalam fase liquid atau bukan liquid, dengan udara atau gas diatas lapisan biofilm liquid.

Proses *attached growth* yang paling sering digunakan adalah *trickling filter* yang pada prinsipnya air limbah didistribusikan ke seluruh area bagian atas dari suatu pipa yang terdiri dari materi *packing non-submerged*. Berdasarkan sejarah, batu merupakan materi *packing* yang paling sering digunakan untuk *trickling filter*, dengan kedalaman yang berkisar dari 1,25 – 2 m (4–6 ft). *Trickling filter* yang terbaru bervariasi ketinggiannya dari 5-10 m (16-33 ft) dan diisi oleh materi *packing* plastik sebagai tempat melekatnya biofilm. Materi *packing* plastik didesain kira-kira 90-95 persen dari volume dalam reactor yang terdiri dari ruang kosong. Sirkulasi udara pada ruang kosong, baik secara alami atau dengan blower, yang menyediakan oksigen untuk pertumbuhan mikroorganisme sebagai biofilm yang melekat. Influen air limbah didistribusikan ke seluruh *packing* dan mengalir sebagai liquid yang tidak sejenis pada lekatan biofilm. Kelebihan biomassa dari *attached growth* dihilangkan secara periodik dan *clarifier* dibutuhkan untuk pemisahan liquid atau padatan agar menghasilkan efluen dengan konsentrasi padatan tersuspensi yang rendah. Padatan terkumpul di dasar *clarifier* dan selanjutnya dihilangkan sebagai proses pengolahan limbah lumpur. (Metcalf dan Eddy, 2003)

Teknologi *attached growth* yang telah dikembangkan, diantaranya adalah sebagai berikut:

- *Trickling Filter (TF)*

Trickling filter telah digunakan untuk memberikan pengolahan air limbah secara biologis pada air limbah domestik dan air limbah industri selama hampir 100 tahun. *Trickling filter* adalah reaktor biologis dengan *fixed-film non-submerged* yang menggunakan packing batu atau plastik, pada sistem ini air limbah akan didistribusikan secara kontinyu. Pengolahan terjadi secara cairan

mengalir melalui biofilm yang melekat. Kedalaman batu pada *packing* batu berkisar dari 0,9 sampai 2,5 m (3 sampai 8 kaki) dan rata-rata yang digunakan adalah 1,8 m (6 kaki). Media filter batu pada umumnya berbentuk lingkaran, dan air limbah nya didistribusikan melalui bagian atas media dengan pendistribusi yang berputar. Banyak trickling filter konvensional menggunakan batu sebagai material *packing* yang telah dikonversikan menjadi packing plastik untuk meningkatkan kapasitas pengolahan. Pada dasarnya seluruh *trickling filter* baru yang digunakan saat ini tersusun dengan *packing* plastik.

Trickling filter yang menggunakan *packing* plastik dapat dibentuk lingkaran, persegi, dan bentuk lainnya dengan kedalaman yang bervariasi dari 4 sampai 12 m (14 sampai 40 kaki). Sebagai tambahan untuk *packing*, komponen-komponen lain dari *trickling filter* termasuk dosis air limbah atau sistem aplikasi, suatu saluran bawah tanah, dan suatu struktur *packing*. Sistem saluran bawah tanah sangat penting baik untuk pengumpulan cairan effluen pada *trickling filter* dan sebagai suatu struktur pori yang dilalui sirkulasi udara. Cairan yang terkumpul dilewatkan menuju suatu tangki sedimentasi yang padatnya dipisahkan dari air limbah yang telah diolah. Pada praktik nya, sejumlah cairan yang terkumpul pada sistem saluran bawah tanah atau effluen yang telah diendapkan didaur ulang ke dalam aliran umpan *trickling filter*, biasanya untuk pengenceran besarnya beban air limbah yang masuk dan untuk memelihara kadar air agar lapisan lendir biologis tetap lembab.

Influen air limbah biasanya dilewatkan pada bagian atas *packing* melalui pelengkap distributor yang membentang pada diameter dalam *trickling filter* dan memiliki jalur masuk yang bervariasi agar terjadi laju aplikasi per satuan luas yang seragam. Pelengkap distributor dirotasikan dengan kekuatan dari air yang keluar melalui jalur masuk atau dengan penggunaan motor listrik. Desain motor listrik menyediakan sistem control yang lebih fleksibel dan jangkauan yang lebih luas dari kecepatan rotasi distributor dibandingkan kemungkinan dari desain hidrolik sederhana. Dalam beberapa kasus, khususnya untuk filter berbentuk kotak atau persegi, digunakan pipa *fixed- flat spray*.

Klarifikasi primer dibutuhkan sebelum *trickling filter* batu, dan secara umum digunakan juga sebelum *trickling filter* dengan *packing* plastik, melalui lapisan saring (lebih kecil dari 3mm) telah berhasil digunakan dengan *packing* plastik. (Metcalf dan Eddy, 2003).

- *Rotating Biological Contractor (RBC)*

Rotating Biological Contractor (RBC) pertama kali dioperasikan di Jerman Barat pada tahun 1960 dan setelah itu baru dikenalkan ke Amerika. Ratusan pemasangan RBC dilakukan pada tahun 1970-an dan prosesnya direview dalam beberapa laporan (U.S, EPA, 1984, 1985, dan 1993: WEF, 1998 dan 2000). Suatu RBC terdiri dari rangkaian lempengan bundar yang berdekatan jaraknya, terbuat dari polistiren atau polivinil klorida yang terendam dalam air limbah dan dirotasikan ke dalam nya. Lempengan plastik silinder yang melekat pada barisan horizontal dan tersedia dalam satuan standar, untuk diameter sekitar 3,5 m (12 kaki) dan untuk panjangnya 7,5 m (25 kaki). Satuan standar luas permukaan lempengan adalah sekitar 9.300 m² (100.000 kaki²), dan satuan untuk lempengan dengan massa jenis yang lebih tinggi juga tersedia yaitu dengan kisaran 13.900 m² (150.000 kaki²) dari luas permukaan. Sebagian RBC berada dalam posisi terendam (pada umumnya 40%) di dalam tangki yang berisi air limbah, dan lempengan nya akan berputar secara perlahan dengan laju sekitar 1,0 hingga 1,6 putaran per menit. Biasanya digunakan perangkat mekanik untuk menggerakkan lempengan tersebut, tetapi perangkat penggerak juga dipasang. Pada perangkat penggerak, suatu susunan lengkungan ditetapkan untuk batas luar dari lempengan dan aerasi didifusikan dengan menggunakan untuk udara langsung ke lengkungan agar terjadi putaran. Lempengan RBC akan memutar keluar air limbah, aerasi dicapai dengan kontak yang terjadi ke atmosfer. Air limbah mengalir melewati lempengan, dan terjadi *sloughing* padatan Seperti halnya dengan *trickling filter*, sistem RBC membutuhkan *pre-treatment* dari *clarifier* primer atau *fine screen* dan *clarifier* sekunder untuk pemisahan cairan dengan padatan. (Metcalf dan Eddy, 2003).

- Proses Pengolahan Aerobik Kombinasi

Beberapa proses pengolahan kombinasi telah dikembangkan berupa rangkaian *trickling filter* dengan proses lumpur aktif. Proses biologis kombinasi yang diketahui adalah sebagai proses ganda atau rangkaian *trickling filter* atau sistem lumpur aktif. Hasil proses kombinasi telah menjadi bagian dari pengembangan instalasi yaitu berupa suatu *trickling filter* atau lumpur aktif yang ditambahkan; kedua nya juga telah tergabung menjadi desain instalasi pengolahan yang baru. (Parker, dkk., 1994). Proses kombinasi memiliki keuntungan-keuntungan dari dua proses, yang mana termasuk (1) kestabilan dan ketahanan terhadap *shock load* dari proses *attached growth*, (2) efisiensi volumetrik dan kebutuhannya energi yang rendah dari proses *attached growth* sebagai bagian dari *removal* BOD, (3) peran dari *pre-treatment* sistem *attached growth* sebagai selektor biologis untuk meningkatkan karakteristik pengendapan lumpur aktif, dan (4) kemungkinan effluen dengan kualitas yang tinggi dengan pengolahan lumpur aktif. Tiga jenis prinsip dari proses kombinasi adalah sebagai berikut:

1. Trickling Filter / Kontak Padatan dan Trickling Filter/ Proses Lumpur Aktif
2. Biofilter Teraktifasi dan Proses Biofilter Lumpur Aktif
3. Rangkaian Trickling Filter – Proses Lumpur Aktif
4. Pertimbangan Desain untuk Sistem Kombinasi Trickling Filter dan Lumpur Aktif (Metcalf dan Eddy, 2003).

- Lumpur Aktif dengan *Fixed-Film Packing*

Beberapa jenis dari material *packing* sintesis telah dikembangkan dalam penggunaan sistem lumpur aktif. Material-material *packing* ini dapat tergantung di dalam, *mixed liquor* lumpur aktif atau terfiksasi di dalam tangki aerasi. Suatu istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan jenis-jenis proses ini adalah sistem lumpur aktif dengan *fixed-film packing* (Sen dkk., 1994). Proses-proses ini dimaksudkan untuk meningkatkan proses lumpur aktif dengan menyediakan suatu konsentrasi biomassa yang lebih besar di dalam tangki aerasi sehingga berpotensi membuat dimensi tangki menjadi lebih kecil. Sistem ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan laju volumetrik nitrifikasi dan untuk mencapai

denitrifikasi di dalam tangki aerasi dengan adanya zona anoksik diantara ketebalan biofilm. Karena kerumitan proses dan hal-hal yang terkait untuk dapat mengerti luas dan aktifitas biofilm, desain proses masih berdasarkan percobaan dan berdasarkan *pada pilot-plant* utama atau hasil *full-scaled* yang masih terbatas. Beberapa proses lumpur aktif dengan *fixed-film packing* yang telah dikembangkan adalah sebagai berikut:

1. Proses dengan *Packing* Tergantung Internal untuk sistem *Attached Growth*
2. Proses dengan *Packing* Terfiksasi Internal untuk sistem *Attached Growth*
3. *Rotating Biological Contractor* Terendam

- Proses *Attached Growth* Terendam

Proses *attached growth* terendam terdiri dari tiga fase: *packing*, biofilm, dan cairan. BOD dan/atau $\text{NH}_4\text{-N}$ yang ter-removed dari cairan yang mengalir melalui biofilm mengalami oksidasi. Oksigen yang disuplai oleh aerator difusi ke dalam *packing* atau dengan melarutkannya ke dalam influen air limbah. Proses *fixed-film* aerobik termasuk reaktor *packed-bed* aliran *downflow*, reaktor *packed-bed* aliran *upflow*, dan *fluidized-bed* aliran *upflow*. Jenis dan ukuran *packing* adalah faktor utama yang mempengaruhi kinerja dan karakteristik operasi dari sistem *attached growth*. Desain dibedakan oleh konfigurasi *packing* dan aliran distribusi pengumpulan inlet serta outlet. Tidak digunakan *clarifier* pada proses *attached growth* terendam ini, kelebihan padatan dari pertumbuhan biomassa dan partikel endapan influen terjebak di dalam sistem dan secara periodik harus dihilangkan. Sebagian besar desain yang ada membutuhkan sistem *backwash* seperti yang digunakan pada instalasi pengolahan air minum untuk membilas padatan yang terakumulasi, biasanya secara harian.

Kelebihan utama dari proses *attached growth* terendam ini adalah kebutuhan lahan yang relatif kecil, kemampuan pengolahan efektif untuk pengenceran air limbah, tidak adanya masalah padatan lumpur sebagaimana yang terjadi dalam sistem lumpur aktif, dan estetis. Juga untuk banyak proses filtrasi padatan yang menghasilkan efluen dengan kualitas yang tinggi. Sistem *fixed-film*

ini memiliki persamaan waktu retensi hidraulik kurang dari 1 hingga 1,5 jam berdasarkan kekosongan tangki nya. Kekurangan sistem ini adalah sistem yang lebih kompleks pada kontrol dan peralatan nya, keterbatasan ekonomi sehingga menghambat aplikasi sistem ini ke fasilitas yang lebih besar, dan pada umumnya memerlukan biaya yang lebih tinggi daripada proses pengolahan lumpur aktif konvensional (Metcalf dan Eddy, 2003).

2.5 Biofilter

Menurut Said dan Ineza 2002 Media biofilter termasuk hal yang penting, karena sebagai tempat tumbuh dan menempel mikroorganisme, untuk mendapatkan unsur-unsur kehidupan yang dibutuhkannya, seperti nutrient dan oksigen. Dua sifat yang paling penting yang harus ada dari media adalah :

- a. Luas permukaan dari media, karena semakin luas permukaan media maka semakin besar jumlah biomassa per-unit volume.
- b. Persentase ruang kosong, karena semakin besar ruang kosong maka semakin besar kontak biomassa yang menempel pada media pendukung dengan substrat yang ada dalam air buangan.

Untuk mendapatkan permukaan media yang luas, media dapat diklasifikasikan dalam berbagai bentuk seperti bergelombang, saling silang, dan sarang tawon. Media yang digunakan dapat berupa kerikil, batuan, plastik (*polivinil chloride*), pasir, dan partikel karbon aktif.

Untuk media biofilter dari bahan organik banyak yang dibuat dengan cara dicetak dari bahan tahan karat dan ringan, misalnya PVC dan lainnya, dengan luas permukaan spesifik yang besar dan volume rongga (porositas) yang besar, sehingga dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar dengan resiko kebuntuan yang sangat kecil. Dengan demikian memungkinkan untuk pengolahan air limbah dengan beban konsentrasi yang tinggi serta efisiensi pengolahan yang cukup besar. Salah satu contoh media biofilter yang banyak digunakan yakni media dalam bentuk sarang tawon (*honeycomb tube*) dari bahan PVC.

Kelebihan dalam menggunakan media plastik tersebut antara lain:

- a. Mempunyai luas permukaan per m^3 volume sebesar 150-240 m^2/m^3
- b. Volume rongga yang besar dibanding media lainnya.
- c. Penyumbatan pada media yang terjadi sangat kecil.

Beberapa contoh perbandingan luas permukaan spesifik dari berbagai media biofilter dapat dilihat pada tabel di 2.4 di bawah ini.

Tabel 2. 4 Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter

No	Jenis media	Luas permukaan spesifik (m^2/m^3)
1	trickling filter dengan batu pecah	100-200
2	model sarang tawon	150-240
3	tipe jaring	50
4	RBC	80-150

2.5.1 Perhitungan Luas Media Bioball

Beberapa jenis media sintetis (*packing material*) telah dikembangkan untuk penggunaan di dalam proses lumpur aktif. Media ini dapat tergantung di dalam *mixed liquor* lumpur aktif atau terfiksasi di dalam tangki aerasi. Suatu istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan jenis-jenis proses ini adalah proses lumpur aktif *fixed film* (Sen dkk., 1994). Proses-proses ini dimaksudkan untuk meningkatkan proses lumpur aktif dengan menyediakan suatu konsentrasi biomassa yang lebih besar di dalam tangki aerasi dan dengan demikian memberikan potensi untuk mengurangi ukuran tangki yang dibutuhkan. Hal ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan laju volumetrik nitrifikasi dan untuk menyempurnakan denitrifikasi di dalam tangki aerasi dengan adanya zona anoksik di dalam ketebalan biofilm. Karena kerumitan dari proses dan permasalahan yang terkait untuk mengetahui area biofilm dan aktifitas yang terjadi, desain proses masih berdasarkan percobaan (empiris) dan berdasarkan *pilot-plant* sebelumnya atau hasil *full-scale* yang masih terbatas (Metcalf & Eddy, 2003).

Dalam penelitian ini media sintesis yang digunakan adalah bioball plastik. Luas permukaan media bioball akan dijadikan variasi penelitian. Digunakan tiga buah reaktor dalam penelitian ini yang masing-masing akan diisi 10 L air limbah rumah sakit. Sehingga langkah pertama untuk menentukan variasi yang digunakan yaitu dengan perbandingan volume air limbah : volume bioball dengan rincian sebagai berikut:

- 10 L air limbah : 8 L bioball
- 10 L air limbah : 10 L bioball
- 10 L air limbah : 12 L bioball

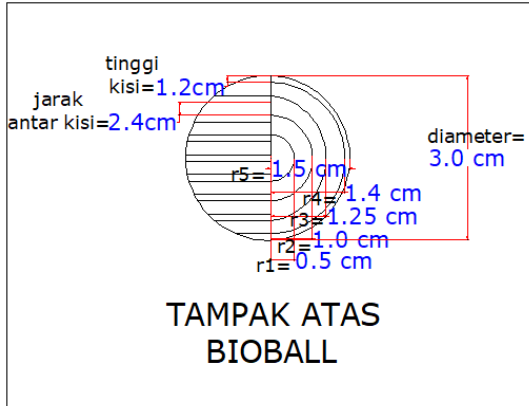
Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan gelas ukur 1 L yang diisi dengan media bioball didapatkan hasil bahwa dalam volume 1 L terdiri dari 50 buah bioball. Reaktor SBBGR yang berisi 10 L air limbah dan 8 L bioball disebut SBBGR 1, Reaktor SBBGR yang berisi 10 L air limbah dan 10 L bioball disebut SBBGR 2, Reaktor SBBGR yang berisi 10 L air limbah dan 12 L bioball disebut SBBGR 3. Dengan jumlah bioball/L yang telah diketahui akan dapat diketahui pula luas permukaan media pada masing-masing reaktor tersebut.

Bioball terbuat dari plastik dengan diameter 3 cm yang tersusun atas kisi-kisi. Gambar bioball dapat dilihat pada gambar 2.2 ini.

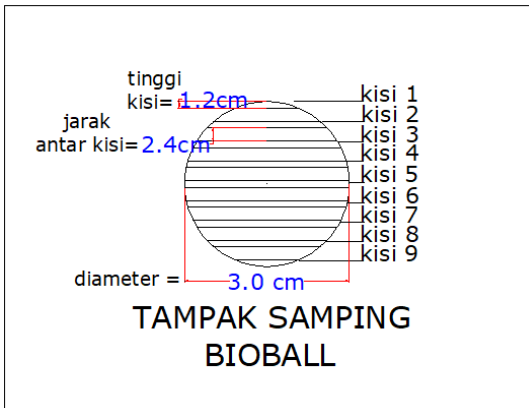


Gambar 2. 2 Bioball

Bioball terdiri atas sembilan kisi yang pada sisi tengah nya terbelah menjadi dua dengan derajat putar sebesar 45° . Dapat dilihat pada gambar 2.3 dan dambar 2.4 di bawah ini.



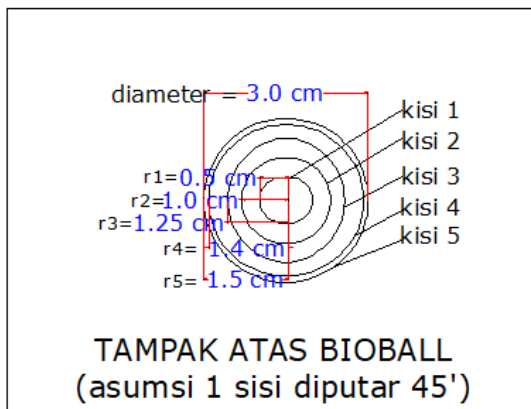
Gambar 2. 3 Tampak Atas Bioball



Gambar 2. 4 Tampak Samping Bioball

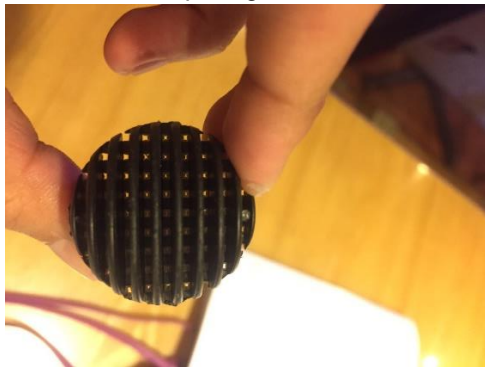
Untuk mempermudah perhitungan luas permukaan bioball, maka diasumsikan jika setengah bioball diputar sebesar 45° maka tampak atas bioball akan menjadi susunan kisi-kisi yang masing-masing berbentuk menyerupai tabung pipih seperti logam dengan

diameter yang semakin besar di bagian tengah. Seperti dapat dilihat pada ilustrasi gambar di bawah ini.



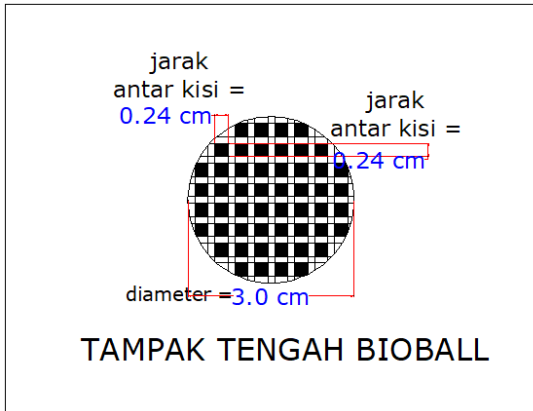
Gambar 2. 5 Tampak Atas Bioball (asumsi 1 sisi diputar 45')

Sedangkan bagian tengah bioball yang merupakan jarak antar kisi akan terlihat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2. 6 Bagian Tengah Bioball

Yang jika diilustrasikan dapat terlihat seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 2.7 Tampak Tengah Bioball

Selanjutnya dilakukan perhitungan luas permukaan media bioball, disimpulkan dari gambar –gambar detail bioball, bahwa total luas permukaan bioball dapat dihitung berdasarkan total dari luas permukaan sembilan kisi berbentuk tabung pipih seperti terlihat di gambar tampak atas bioball (asumsi 1 sisi diputar 45°) dan dua kali dari luas permukaan tampak tengah bioball.

$$\text{Luas permukaan bioball} = A + B$$

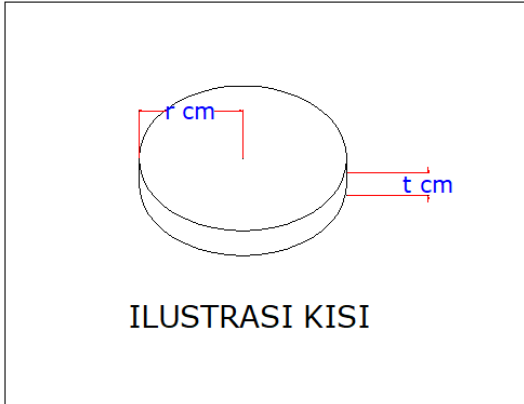
dengan A: Total luas permukaan kisi

B: Total luas permukaan tampak tengah

➤ **Perhitungan A**

Diketahui:

- (bioball terdiri dari 9 kisi yang masing-masing berbentuk tabung pipih)
- Ilustrasi kisi dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 8 Ilustrasi Kisi

- jari-jari kisi 1 = r_1 = 0,5 cm
- jari-jari kisi 2 = r_2 = 1,0 cm
- jari-jari kisi 3 = r_3 = 1,25 cm
- jari-jari kisi 4 = r_4 = 1,4 cm
- jari-jari kisi 5 = r_5 = 1,5 cm
- jari-jari kisi 6 = r_6 = 1,4 cm
- jari-jari kisi 7 = r_7 = 1,25 cm
- jari-jari kisi 8 = r_8 = 1,0 cm
- jari-jari kisi 9 = r_9 = 0,5 cm
- tinggi kisi = t = 0,1 cm
- π = 3,14

Luas permukaan kisi = Luas permukaan tabung

Luas permukaan kisi = $2 \times \pi \times r (r + t)$

A = Total luas permukaan kisi

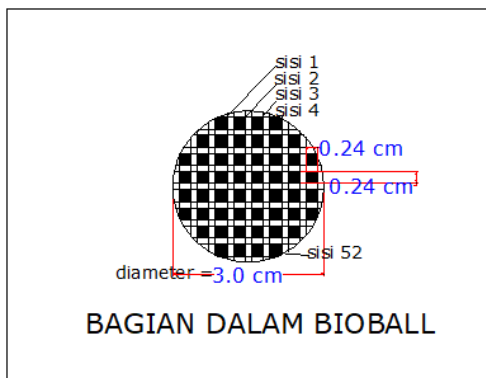
Total luas permukaan kisi

***= Luas permukaan kisi 1 + Luas permukaan kisi 2 +
Luas permukaan kisi 3 + Luas permukaan kisi 4 +
Luas permukaan kisi 5 + Luas permukaan kisi 6 +
Luas permukaan kisi 7 + Luas permukaan kisi 8 +
Luas permukaan kisi 9***

➤ **Perhitungan B**

Diketahui:

- (bioball terdiri dari 2 bagian dalam yang masing-masing terdiri dari 52 sisi yang berbentuk persegi, bukan kubus karena bagian atas dan bawah ketinggian tertutup oleh kisi-kisi). Sehingga total sisi persegi yang terdapat pada satu bioball yaitu 104 buah.
- Ilustrasi bagian dalam bioball dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.9 Bagian Dalam Bioball

- sisi = 0,24 cm
- Jumlah persegi = 104 buah

Luas sisi bagian dalam = Luas persegi

Luas persegi = sisi x sisi

Luas persegi = 0,24 cm x 0,24 cm

Luas persegi = 0,58 cm²

B = Total luas permukaan tampak tengah

Total luas persegi = Jumlah persegi x Luas persegi

Total luas persegi = 104 x Luas persegi

Total luas persegi = 104 x 0,58 cm²

Total luas persegi = 5,99 cm²

➤ **Perhitungan A + B**

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan diketahui luas permukaan satu buah bioball yaitu 88,75 cm². Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap masing-masing reaktor SBBGR.

➤ **Perhitungan Luas Permukaan Media SBBGR 1**

Berdasarkan perhitungan ditetapkan variasi luas permukaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

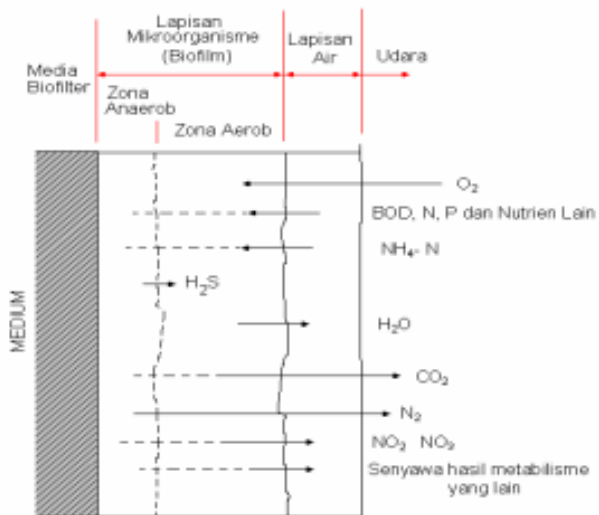
1. Luas permukaan media pada SBBGR 1 adalah 3,6 m²
2. Luas permukaan media pada SBBGR 2 adalah 4,4 m²
3. Luas permukaan media pada SBBGR 3 adalah 5,3 m²

2.5.2 Proses Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilter Tercelup

Proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm atau biofilter secara garis besar dapat dilakukan dalam kondisi aerobik, anaerobik, atau kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses aerobik dilakukan dengan kondisi adanya oksigen terlarut di dalam reaktor air limbah, dan proses anaerobik dilakukan tanpa adanya oksigen dalam reaktor air limbah.

Sedangkan proses kombinasai anaerob-aerob adalah merupakan gabungan proses anaerobik dan proses aerobik. Proses ini biasanya digunakan untuk menghilangkan kandungan nitrogen di dalam air limbah. Pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi yakni nitrogen ammonium diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) dan pada kondisi anaerobik terjadi proses denitrifikasi yakni nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$).

Mekanisme proses metabolisme di dalam sistem biofilm secara aerobik secara sederhana dapat diterangkan pada gambar 2.10 di bawah ini.



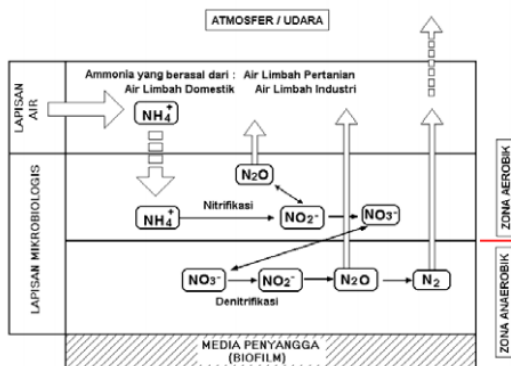
Gambar 2.10 Mekanisme Proses Metabolisme di dalam Sistem Biofilm

Gambar di atas menunjukkan suatu sistem biofilm yang terdiri dari medium penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan air limbah dan lapisan udara yang terletak di luar. Senyawa polutan yang ada di dalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD, COD), amonia, fosfor, dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energy yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplai oksigen pada lapisan biofilm dapat dilakukan dengan beberapa cara, misalnya pada sistem RBC yakni dengan cara kontak dengan udara luar, pada sistem *trickling filter* dengan aliran balik udara, sedangkan pada sistem biofilter tercelup dengan menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi.

Jika lapisan mikroorganisme cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikroorganisme akan berada dalam kondisi aerobik,

sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Pada kondisi anaerobik akan terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar maka gas H_2S yang terbentuk tersebut akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada di dalam biofilm.

Selain itu pada zona aerobik nitrogen-ammonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat dan selanjutnya pada zona anaerobik nitrat yang terbentuk mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Oleh karena di dalam sistem biofilm terjadi kondisi anaerobik dan aerobik pada saat yang bersamaan maka dengan sistem tersebut maka proses penghilangan senyawa nitrogen menjadi lebih mudah. Hal ini secara sederhana ditunjukkan pada gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Mekanisme Penghilangan Ammonia di dalam Proses Biofilter

(Said dan Ineza, 2002)

2.5.3 Sistem Suplai Udara dalam Proses Pengolahan Air Limbah dengan Biofilter Tercelup Aerobik

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup aerobik, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara, tetapi yang sering digunakan antara lain aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan,

aerasi eksternal, aerasi dengan "*air lift pump*" dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media.

Di dalam proses biofilter dengan sistem aerasi merata, lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media mudah terlepas, sehingga seringkali proses menjadi tidak stabil. Tetapi di dalam sistem aerasi melalui aliran putar, kemampuan penyerapan oksigen hampir sama dengan sistem aerasi dengan menggunakan diffuser, oleh karena itu untuk penambahan jumlah beban yang besar sulit dilakukan. Berdasarkan hal tersebut di atas belaknagan ini penggunaan sistem aerasi merata banyak dilakukan karena mempunyai kemampuan penyerapan oksigen yang besar.

Jika kemampuan penyerapan oksigen besar maka dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik (*organic loading*) yang besar pula. Oleh karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anorganik, semakin kecil diameternya, luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula.

Jika sistem aliran dilakukan dari atas ke bawah (*down flow*) maka sedikit banyak terjadi efek filtrasi sehingga terjadi proses penumpukan lumpur organik pada bagian atas media yang dapat mengakibatkan penyumbatan. Oleh karena itu perlu proses pencucian secukupnya. Jika terjadi penyumbatan maka dapat terjadi aliran singkat (*short pass*) dan juga terjadi penurunan jumlah aliran sehingga kapasitas pengolahan dapat menurun secara drastis. (Said dan Ineza, 2002)

2.6 Granular

Selama periode *start-up* (sekitar 3 bulan), granulasi biomassa diperoleh berdasarkan langkah-langkah berikut. Khususnya, selama hari-hari pertama eksperimen teramati bahwa suatu lapisan biofilm tipis menutupi seluruh permukaan *carrier* dengan rata-rata konsentrasi biofilm pada filter bed sekitar 7g TSS/L_{bed} dan *headloss* lebih rendah dari 10cm. Pada hari berikutnya, pertambahan peningkatan ketebalan biofilm dengan diikuti peningkatan konsentrasi biomassa dan *headloss* sampai dengan 20g TSS/L dan 1m secara berurutan. Pada dasarnya pengamatan ini didapatkan, representasi skematik bagaimana granulasi biomassa terbentuk pada *start-up* SBBR terdiri dari 4 tahap : (1) pembentukan dari suatu lapisan yang menutupi *carrier*; (2) peningkatan ketebalan biofilm; (3) biofilm yang melekat mulai pecah dengan menghasilkan partikel biofilm; (4) penyusunan ulang dari partikel biofilm dalam granul halus. (Di Laconi, 2005)

2.7 Reaktor Batch

Reaktor batch sering digunakan untuk tingkat produksi kecil dan waktu reaksi yang lama. Reaktor fleksibel dan kondisi reaksi dapat disesuaikan, berguna dalam produksi berbagai bahan kimia yang berbeda. Operasi batch sering ditakutkan dimana fouling atau kontaminasi cepat terjadi didalam reaktor. Biaya investasi reaktor batch termasuk peralatan bantu umum yang relatif rendah. Di sisi lain, operasi manual diperlukan pengawasan yang relatif luas, sementara operasi otomatis seringkali sulit dan mahal. Berkenaan dengan kapasitas reaktor, telah ditunjukkan pada bagian sebelumnya kapasitas tangki reaktor selalu lebih kecil dibandingkan tabung reaktor (Westerterp, 1987).

Reaktor batch berdasarkan sifatnya adalah transisi dari sistem tertutup. Sementara reaktor batch dapat menjadi sederhana baik diaduk dalam botol batch temperatur konstan, atau laboratorium reaktor batch skala pabrik. Diamati dari jenis tingkat konsentrasi dapat disimpulkan bahwa percobaan dalam tipe batch, konsentrasi dari reaktan dan produk diukur sebagai fungsi dari waktu. Seperti

yang ditunjukkan sebelumnya, penggunaan reaktor memungkinkan untuk pengukuran langsung dari laju reaksi. Dikondisi steady state (berada dalam reaktor batch), skala waktu digunakan untuk teknik analitik dan pemisahan reaksi. Selain itu karena banyak contoh dapat menjadi hasil dikondisi yang sama. Meningkatkan akurasi dari data secara dramatis (Tim Dosen Kimia Dasar. 2009).

2.8 Seeding dan Aklimatisasi Bakteri

2.8.1 Seeding atau Pembibitan Bakteri

Proses *seeding* dilakukan untuk mengembangbiakkan mikroorganisme sehingga didapatkan jumlah biomassa yang mencukupi untuk mengolah air buangan. Bibit mikroorganisme diambil dari suatu lumpur kolam pengolahan air buangan yang ditumbuhkan secara aerob. Pada tahap *seeding* ini yang perlu diperhatikan adalah konsentrasi zat organik (substrat), dan VSS. Selama periode waktu detensi tertentu dilakukan pemeriksaan parameter organik, VSS, TSS, pH, dan temperatur. Terjadinya penambahan biomassa ditandai dengan warna lumpur yang semakin gelap (coklat kehitaman). Konsentrasi oksigen terlarut (DO) selalu dijaga di atas 4 mg/l untuk memastikan proses aerob dapat berlangsung dengan baik. Temperatur juga dijaga pada temperatur kamar, selain itu pH juga dijaga agar tetap dalam kisaran normal yaitu berkisar antara 7,0-8,5 dengan cara penambahan larutan asam atau basa. (Tim Lab Teknik Pengolahan Limbah Politeknik Negeri Sriwijaya, 2013)

2.8.2 Aklimatisasi Bakteri

Proses aklimatisasi dilakukan untuk mendapatkan suatu kultur mikroorganisme yang stabil dan dapat beradaptasi dengan air buangan pabrik kelapa sawit yang telah disiapkan. Selama masa aklimatisasi kondisi dalam reaktor dibuat tetap aerob dengan menjaga konsentrasi, temperatur, dan pH. Proses ini dilakukan secara *batch*.

Proses aklimatisasi dapat dianggap selesai jika pH, VSS, temperatur, dan efisiensi penyisihan senyawa organik telah konstan dengan fluktuasi yang tidak lebih dari 10%. (Tim Lab Teknik Pengolahan Limbah Politeknik Negeri Sriwijaya, 2013).

Perlu diingat seperti contoh pengolahan biologis lainnya, pada tahap awal eksperimen penting diperhatikan pengembangan biomassa dan aklimatisasi. Suatu pendekatan pembibitan dilaksanakan untuk membiarkan biomassa untuk beraklimatisasi terhadap air limbah karena potensi toksisitas dan hubungannya atas tingkat biodegradasi. (Fongsatitkul et al., 2008; Spagni et al., 2010)

2.8.3 Karakteristik Lumpur dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT)

Pengujian karakteristik awal lumpur IPLT Keputih yang digunakan sebagai sumber mikroorganisme dalam penelitian ini. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi padatan tersuspensi dan nutrient yang ada pada lumpur. Sehingga ketika penelitian dilakukan dapat memudahkan dalam penentuan angka pengenceran yang dibutuhkan untuk membuat konsentrasi lumpur yang sesuai dengan tipikal operasi MBBR. Analisis karakteristik awal yang digunakan yaitu MLSS dan MLVSS. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut:

Tabel 2. 5 Karakteristik Lumpur Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja

Parameter	Satuan	Nilai
MLSS	mg/L	29000
MLVSS	mg/L	28995.1

(sumber : Aljumriana, 2011)

2.9 Kajian SBBGR

Meskipun pengolahan air limbah dengan lumpur aktif secara konvensional telah diterapkan secara luas, terkadang menunjukkan kendala-kendala dalam operasinya, seperti *bulking* yang memberikan dampak negatif terhadap kinerja pengolahan. Sebagai gantinya digunakan *flotation* pada sedimentasi untuk memisahkan lumpur dari effluen yang telah diolah dapat menyelesaikan permasalahan ini, tetapi hal tersebut menyebabkan kenaikan biaya dan operasi instalasi yang lebih

kompleks. Kerugian lainnya dalam aplikasi pengolahan dengan lumpur aktif adalah tingginya sensitifitas dari proses (khususnya pada proses nitrifikasi) terhadap beberapa senyawa toksik. (Lotito, et al, 2011).

Pemakaian dari sistem *fill* dan *draw* dapat menjadi solusi yang beralasan untuk mengatasi permasalahan-permasalahan operasional ini dan dapat membantu untuk mencapai tingkat pengolahan yang lebih baik. Bahkan *sequencing batch reactor* (SBR) menawarkan beberapa keuntungan yang jangkauannya dari susunan yang *compact* (semua rangkaian operasinya dilakukan pada suatu reaktor yang sama) hingga fleksibilitas operasional (karena kemungkinan untuk mengontrol pengoperasian berdasarkan waktu dibandingkan luas). Lagipula, SBR dapat men-toleransi beban kejut dan aliran puncak karena efek equalisasi dari fase pengisian. (Lotito, et al, 2011).

Kinerja yang lebih baik dapat dicapai dengan sistem *sequensial* dengan lumpur granular yang muncul karena pilihan yang tepat dari beberapa parameter pengoperasian. Dibandingkan dengan flok-flok lumpur aktif konvensional, lumpur granular struktur yang lebih teratur, padat, dan kuat, diikuti dengan kemampuan pengendapan yang baik, retensi biomassa yang tinggi dan kemampuan yang baik dalam menghadapi beban kejut. Selanjutnya, sebagai hasil dari gradasi difusi oksigen, zona aerobik, anoksik, dan anaerobik dapat terdukung, sehingga dapat diaplikasikan untuk air limbah dengan beban yang tinggi, dekomposisi air limbah yang toksik dan removal karbon organik, nitrogen, dan fosfor secara bersamaan. Bagaimanapun, satu kerugian yang paling utama dari granular SBR adalah relatif tingginya konsentrasi *suspended solid* (SS) pada efluen. (Lotito, et al, 2011).

Sistem SBBGR adalah sistem pengolahan inovatif yang berdasarkan pada sistem *submerged biofilter* yang dioperasikan pada kondisi *batch*. Sistem ini menggabungkan semua keuntungan yang dimiliki sebuah sistem granular *Sequencing*

Batch Reactor (SBR) dengan kapasitas filtrasi yang tinggi, yang menghasilkan efluen bebas padatan terlarut (Di laconi et al. 2010). Dalam sistem SBBGR, biomassa tidak tersuspensi sepertihalnya dalam SBR. Biomass akan diperangkap dan ditumbuhkan melekatkan pada biofilter bed, yang menghasilkan biomassa *retention* yang lebih besar di dalam reaktor. Sehingga sistem ini tidak memerlukan sebuah tangki pengendap akhir karena telah terdapat reduksi produksi lumpur biomassa (Di laconi et al. 2010).

Kajian SBBGR pada air limbah domestik (Di laconi et al. 2010) menunjukkan hasil penurunan kadar COD, TSS dan total nitrogen masing-masing sekitar 80% untuk beban organik sampai dengan 2.5 kg COD/m³d. Pada kajian terbukti bahwa sistem SBBGR menghasilkan produk lumpur yang sangat rendah (0.12-0.14 kg TSS/kg COD_{removed}).

Hasil penelitian Lotito et la.(2014) menunjukkan kemampuan sistem SBBGR untuk mereduksi bahan pencemar air limbah industri tekstil dan campuran air limbah domestik dengan air limbah tekstil. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa air limbah capuran dapat diolah dengan waktu tinggal hidrolik yang singkat (kurang dari 10 jam). SBBGR juga menunjukkan sebagai sistem yang efektif untuk air limbah tekstil untuk dapat dibuang pada saluran air limbah perkotaan.

Kajian yang dilakukan Sanctis et la. (2013) pada sistem SBBGR yang dioperasikan dalam jangka panjang, telah dijustifikasikan bahwa terjadi removal COD sebesar 96% di samping terjadinya pertumbuhan biomassa, produksi gas metana, konsumsi oksigen oleh bakteri aerobik, anoksik dan anaerobik. Dikonfirmasi pula terjadinya pertumbuhan lumpur biomassa yang rendah. Selain hal di atas, didapatkan granulasi biomassa yang stabil dapat terjadi pada tingkat resirkulasi limbah yang rendah.

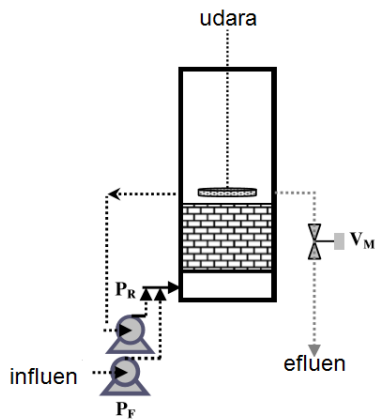
2.9.1 Proses yang Terjadi di dalam Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor (SBBGR)

Operasi dari *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR) berdasarkan siklus pengolahannya, terdiri dari tiga tahap konsekutif: *filling* (pengisian), oksidasi biologis, dan *drawing* (pengeluaran). Selama tahap *filling* pengisian (bukan tahap aerasi), sejumlah volume influen air limbah yang sudah ditetapkan ditambahkan ke volume cairan yang sudah diolah di dalam SBBGR dari siklus pengolahan sebelumnya. Pada tahap oksidasi biologis, cairan di dalam SBBGR secara kontinyu diaerasi dan didaur ulang melalui material penyokong biomassa (aerasi dimatikan sementara selama satu jam pertama pada tahap ini untuk proses oksidasi pengurangan nitrogen). Akhirnya, efluen yang telah diolah akan dikeluarkan secara gravitasi dari SBBGR dan SBBGR dapat digunakan untuk memulai siklus pengolahan yang baru. (Lotito, 2011)

2.9.2 SBBGR Skala Laboratorium yang Telah Dioperasikan

Investigasi telah dilaksanakan menggunakan suatu SBBGR skala laboratorium, lihat pada gambar 2.12 dan gambar 2.13 di bawah ini.

SBBGR terdiri dari sebuah reaktor silindris (volume geometrik: 10L; diameter: 18 cm; tinggi: 40 cm) sebagian diisi oleh (*fixed bed volume*: 3.5 L) dengan material penyokong biomassa (bahan plastik berbentuk roda; (fitur: tinggi 7mm, diameter 8mm, luas spesifik $690 \text{ m}^2/\text{m}^3$, kerapatan 0,95, porositas bed 0,74) dikemas diantara 2 ayakan dan diaerasi dengan injeksi udara (pada kecepatan aliran 200L/jam) melalui batu berpori yang ditempatkan dekat dengan ayakan bagian atas. Suatu *loop* eksternal menyebabkan resirkulasi air limbah,



Gambar 2. 12 Diagram SBBGR Skala Labratorium



Gambar 2. 13 SBBGR Skala Laboratorium

(pada kecepatan aliran 90L/jam) melalui material pengisian yang dipompa P_R (lihat gambar 2.13) untuk memastikan distribusi substrat dan oksigen yang homogen.

Operasi SBBGR berdasarkan rangkaian dari tiga siklus pengolahan setiap hari, yang masing-masing terdiri dari 3 tahap konsektif: *filling*, reaksi, dan *drawing*. Selama tahap *filling* (10 menit), 2,5 L air limbah sintesis dipompa (dengan pompa P_F) ke dalam SBBGR. Pada tahap reaksi (450 menit), air limbah yang telah terisi diaerasi secara kontinyu dan didaur ulan melauai material penyokong biomassa. Akhirnya, air limbah yang telah diolah akan dikeluarkan (10 menit) secara gravitasi dari reaktor (dengan membuka kran V_M) dan reaktor siap digunakan untuk memulai siklus pengolahan yang baru. Keseluruhan sistem operasi secara otomatis menggunakan *programmable logic controller* (PLC).

Lumpur aktif dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dari Bari, Italia digunakan sebagai inoculum.

Kegiatan penelitian terpisah menjadi dua periode (A, B). Periode A ditujukan untuk pembentukan biomassa granular, sedangkan periode B ditujukan untuk kondisi *steady state*. Tabel 2.6 ini menunjukan kondisi operatif pada reaktor dari kedua periode.

Tabel 2. 6 Kondisi Operatif Reaktor selama *start-up* (periode A) dan kondisi *steady state* (periode B)

Parameter	periode	
	A	B
Durasi (hari)	120	90
<i>Organic load</i> (gr COD/L _{bed} .hari)	0.25-2	2
<i>Hydraulic load</i> (L/hari)	7.5	7.5
Jumlah siklus pengolahan harian	3	3
Laju resirkulasi (L/jam)	90	90
Laju kecepatan udara (L/jam)	200	200
Frekuensi pencucian (hari)	0	*

*ketika nilai *headloss* mencapai 100cm

Konsentrasi air limbah sintetis digunakan untuk menyiapkan nutrisi pada reaktor. Komposisi dari media pekat sebagai berikut: glukosa, 120 gr/L; NH_4Cl , 38 gr/L; Na_2HPO_4 , 5,5 gr/L. SBBGR diberikan nutrisi selama periode B, diperoleh pengenceran air limbah sintetis dengan air kran, yang hasilnya dijadikan sebagai influen COD (*chemical oxygen demand*), amonia, dan fosfor dengan konsentrasi secara berurut 960mg/L, 80mg/L, dan 9,6 mg/L.

Pada periode *start-up* (periode A) nilai beban organik meningkat secara progresif dari 0,25 hingga 2 gr COD/L_{bed}. hari (melalui 6 langkah, yaitu 0,25; 0,5; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0 gr COD/L_{bed}. hari, secara berurutan), rasio pengenceran yang lebih tinggi dari konsentrasi air limbah sintetis juga digunakan.

Start-up reaktor dilakukan dengan *seeding* menggunakan lumpur aktif dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Bari, Italia.

Selama hari-hari pertama dari periode *start-up*, terbentuk suatu lapisan biofilm tipis yang secara keseluruhan menutupi permukaan material bawaan dari lumpur aktif yang digunakan sebagai inokulum. Selanjutnya, peningkatan ketebalan biofilm yang menyebabkan peningkatan konsentrasi biomassa. Kemudian, pelekatan partikel biofilm dan perubahan posisi di dalam pori-pori material *filling* juga diamati. Partikel-partikel terperangkap di dalam dan selanjutnya tumbuh, bertambah besar, dan bentuknya menyerupai granular. Untuk itu, pada tahap akhir periode *start-up* (setelah 4 bulan), biomassa yang terdapat di dalam bed reaktor terdiri dari dua fraksi yang berbeda: biofilm yang melekat pada material dan granular yang terperangkap pada pori-pori interstisial dari material *filling*. Pemisahan dari dua fraksi ini dapat diperoleh dengan mudah dengan mengambil sampel sejumlah volume dari *material bed* dan mengendapkannya di dalam beaker yang berisi air. sebagai hasilnya, material penyokong dengan biofilm yang melekat akan mengapung, sedangkan granul akan tetap menetap di dasar beaker (Sanctis, 2010).

2.10 Kajian Tipe Reaktor Sejenis SBBGR (Reaktor Model *Batch* dan *Sequencing*)

2.10.1 *Sequencing Batch Reactor* (SBR)

Sequencing batch reactor (SBR) adalah suatu reaktor dengan sistem pengisian dan pembuangan yang di dalamnya berlangsung proses pencampuran lengkap selama tahap reaksi batch (setelah pengisian) dan tahap selanjutnya yaitu aerasi dan pengendapan terjadi di dalam tangki yang sama. Semua sistem SBR terdiri dari lima tahap umum, yang urutan terjadinya yaitu sebagai berikut: (1) pengisian, (2) reaksi (aerasi), (3) pengendapan (sedimentasi/klarifikasi), (4) pengeluaran (pembuangan), dan (5) diam. Untuk SBR yang diaplikasikan dengan aliran kontinyu, setidaknya harus disediakan dua tangki SBR sehingga saat satu tangki sedang menerima aliran, tangki lainnya beroperasi. Beberapa proses modifikasi telah diciptakan agar di waktu antara setaip tahap dapat terjadi proses penyisihan nitrogen dan fosfor. Deskripsi lanjut tentang tahapan-tahapan yang terjadi di dalam SBR yaitu sebagai berikut:

1. Tahap pengisian

Selama tahap pengisian, volume dan substrat (air limbah baku atau effluen primer) dimasukkan ke dalam reaktor. Pada umumnya proses pengisian dapat menerima cairan hingga 75% dari kapasitas total (pada saat akhir tahap diam) hingga 100%. Saat dua tangki digunakan, proses pengisian dapat berlangsung hingga 50% dari keseluruhan siklus penuh. Selama tahap pengisian, di dalam reaktor ini dapat terjadi hanya proses *mixing* atau proses *mixing* dan aerasi untuk memulai reaksi biologis dengan influen air limbah.

2. Tahap reaksi

Selama tahap reaksi, biomassa mengonsumsi substrat di bawah kontrol kondisi lingkungan.

3. Tahap pengendapan

Padatan dapat dipisahkan dari cairan dalam kondisi tidak terjadi pergerakan, menghasilkan supernatant di suatu clarifier yang dapat dikeluarkan sebagai effluen.

4. Tahap pengeluaran

Effluen yang telah dijernihkan disisihkan selama periode pengeluaran. Terdapat banyak jenis mekanisme pengeluaran yang dapat digunakan, jenis yang paling sering digunakan yaitu dengan mekanisme *floating* atau mekanisme bendungan yang dapat diatur.

5. Tahap diam

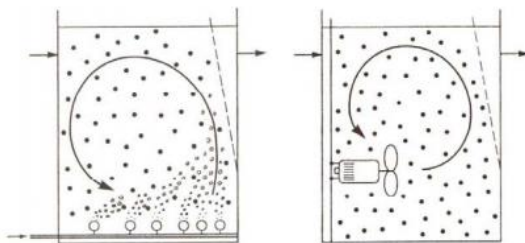
Tahap diam ini digunakan di dalam sistem multi tangki untuk menyediakan waktu saatsatu reaktor telah lengkap fase pengisiannya sebelum digunakan ke tangki lainnya. Karena tahap diam ini bukan tahap yang dibutuhkan, terkadang tahap ini dihilangkan. (Metcalf dan Eddy, 2003)

2.9.2 *Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)*

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) merupakan salah satu sistem pengolahan biologis yang menggunakan media plastik untuk menyediakan tempat hidup koloni mikroorganisme yang tumbuh menjadi biofilm. Reaktor ini dioperasikan pada kondisi aerobik untuk menurunkan kadar organik dan nitrifikasi, sedangkan pada kondisi anoksik untuk denitrifikasi. Selama beroperasi, media dijaga dalam sirkulasi yang tetap. Pada kondisi aerobik, sirkulasi diciptakan dengan menginjeksikan gelembung udara ke dalam reaktor melalui sistem difusi gelembung dan pada kondisi anoksik biasanya diciptakan dengan menggunakan pengaduk yang terendam di dalam reaktor. Media yang diisi dapat mencapai 70% dari volume total reaktor. Namun, dari hasil penelitian yang pernah ada menunjukkan bahwa efisiensi pengadukan akan menurun jika persentase pengisian jumlah media dinaikkan. Keutamaan MBBR adalah proses *attached growth* (mikroorganisme melekat pada

media), sehingga kapasitas pengolahan adalah sebuah fungsi dari luas permukaan spesifik reaktor. Luas permukaan spesifik reaktor dihitung dengan membagi luas permukaan media yang ditumbuhi biofilm dan volume reaktor. Setiap media memiliki karakteristik luas permukaan spesifik yang berbeda-beda. Luas permukaan spesifik media merefleksikan jumlah luas permukaan yang tersedia untuk pertumbuhan biofilm per-unit volume media. (Metcalf dan Eddy, 2003).

Ide pengembangan proses *Moving Bed Biofilm* adalah untuk mengadopsi proses yang terbaik dari proses *activated sludge* dan proses biofilter. Tidak seperti kebanyakan reaktor biofilm lainnya, MBBR menggunakan seluruh volume reaktor untuk pertumbuhan biomassa dan tidak memerlukan *recycle* lumpur. Hal ini dapat dilakukan dengan menumbuhkan biomassa pada media yang bergerak bebas dalam reaktor, dimana reaktor dilengkapi dengan sekat berlubang untuk mencegah media keluar melalui outlet. Akibat tidak adanya tempat untuk resirkulasi lumpur, hanya biomassa berlebih yang harus dipisahkan sehingga lebih menguntungkan dibandingkan dengan *activated sludge* dan biofilter (Igarashi *et al.*, 1999). MBBR ini dapat digunakan untuk kondisi aerobik dan anoksik seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 14 (kiri) Kondisi Aerobik pada MBBR, (kanan) Kondisi Anoksik pada MBBR

Sumber: Igarashi *et al.*, 1999

Pada proses aerobik, pergerakan media biofilm disebabkan pengadukan oleh udara, sedangkan pada proses anoksik

digunakan pengaduk untuk menggerakkan media. Pada reaktor aerobik digunakan sistem aerasi dengan *coarse bubble*. Media dijaga di dalam reaktor aerobik dengan menggunakan sekat berlubang pada *outlet*nya. Biasanya MBBR didesain secara vertikal, sekat berlubang dengan bentuk segi empat, tetapi terkadang berupa batang silinder, baik horizontal maupun vertikal. Media biofilm (K1) terbuat dari HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan densitas $0,95 \text{ g/cm}^3$ dan berbentuk seperti silinder kecil dengan bentuk tambah (+) di dalamnya dan bergerigi di bagian luar (Gambar 2.2). Tebal silinder sebesar 7 mm dan berdiameter 10 mm (tidak termasuk bagian gerigi) (Igarashi *et al.*, 1999).



Gambar 2. 15 Media Biofilm Kaldness 1(K1)

Sumber: Igarashi *et al.*, 1999

2.11 Aliran *Upflow*

Menurut Khambhammettu. 2006, bagian-bagian yang ada pada alat filtrasi sistem aliran *up flow* hampir sama dengan filtrasi *down flow*, yaitu terdiri dari bagian inlet, lapisan air di bawah media penyaring, media pasir, dan bagian pengeluaran, tetapi letak masing-masing bagian berkebalikan secara vertikal saja dengan sistem filtrasi *down flow*.

Menurut Said (2005), pengolahan limbah cair dengan menggunakan saringan pasir sistem aliran *up flow* mempunyai keunggulan antara lain:

- a. Filtrasi sistem *up flow* tidak memerlukan bahan kimia, sehingga biaya operasinya murah.

- b. Filtrasi sistem *up flow* dapat menghilangkan zat besi, mangan, dan warna serta kekeruhan.
- c. Filtrasi sistem *up flow* dapat menghilangkan amonia dan polutan organik, karena proses penyaringan berjalan secara fisik dan biokimia.
- d. Filtrasi sistem *up flow* lebih mudah untuk melakukan pencucian media
- e. Proses filtrasi sistem *up flow* tidak terlalu terpengaruh oleh tingkat kekeruhan air atau limbah baku.

Sedangkan kelemahan dari saringan pasir sistem aliran *up flow* yakni:

- a. Filtrasi sistem *up flow* lebih rumit karena memerlukan pengaturan tekanan khusus untuk bisa mengalirkan air atau limbah ke arah atas.
- b. Kecepatan penyaringan Filtrasi sistem *up flow* rendah sehingga memerlukan ruang yang cukup luas.

Menurut Malina dan Pohland, 1992 Reaktor *fixed bed* aliran *upflow* lebih diminati karena waktu start-up lebih pendek daripada *downflow*, yaitu 3-4 bulan sedangkan reaktor *fixed bed downflow* membutuhkan waktu *start-up* 4-6 bulan.

Reaktor *fixed bed* akan dioperasikan secara *upflow*, dengan kecepatan yang sangat kecil yaitu 1 m/jam karena kecepatan yang terlalu tinggi dapat mengangkat media pertumbuhan bakteri. Pengoperasian secara *upflow* ditujukan untuk meminimisasi terjadinya *clogging*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai efisiensi penurunan konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3 - \text{N}$), dan fosfat (PO_4) pada limbah cair rumah sakit dengan menggunakan *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* (SBBGR). SBBGR merupakan modifikasi dari *Sequencing Batch Reactor* (SBR). Pada sistem ini akan dianalisis pengaruh variasi luas permukaan media *attached growth* yaitu bioball dan variasi durasi aerasi terhadap tingkat efisiensi SBBGR. Limbah yang digunakan adalah air limbah dari IPAL Gedung Diagnostic Center (GDC) RSUD Dr. Soetomo, Kota Surabaya. Sebelum melakukan uji removal pada air limbah, dilakukan penelitian pendahuluan terlebih dulu, yaitu *seeding* dan aklimatisasi bibit bakteri yang berasal dari lumpur tinja Instalasi Pengolahan Limbah Tinja (IPLT) Keputih, Surabaya.

3.2 Kerangka Penelitian

Dasar pemikiran dan rangkaian kegiatan dalam penelitian direpresentasikan melalui kerangka penelitian. Kerangka penelitian merupakan gambaran umum pelaksanaan penelitian yang disusun berdasarkan tahapan pelaksanaan penelitian sehingga penelitian dapat berjalan sistematis dengan tujuan yang jelas. Penyusunan kerangka penelitian didasarkan pada studi literatur yang dilakukan, baik dari jurnal ilmiah, buku teks, maupun laporan tugas akhir yang mendukung pada penelitian ini. Adapun kerangka penelitian digambarkan pada gambar 3.1.

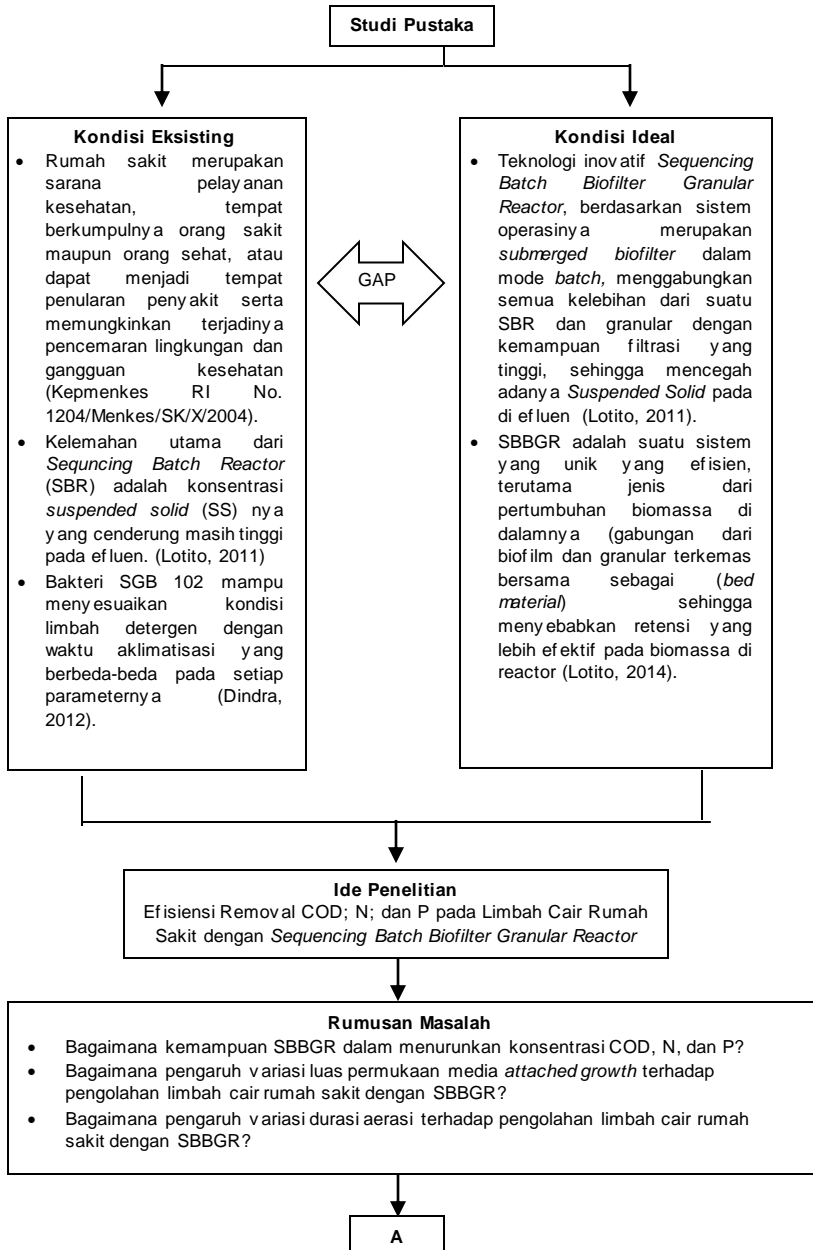
3.3 Studi Literatur

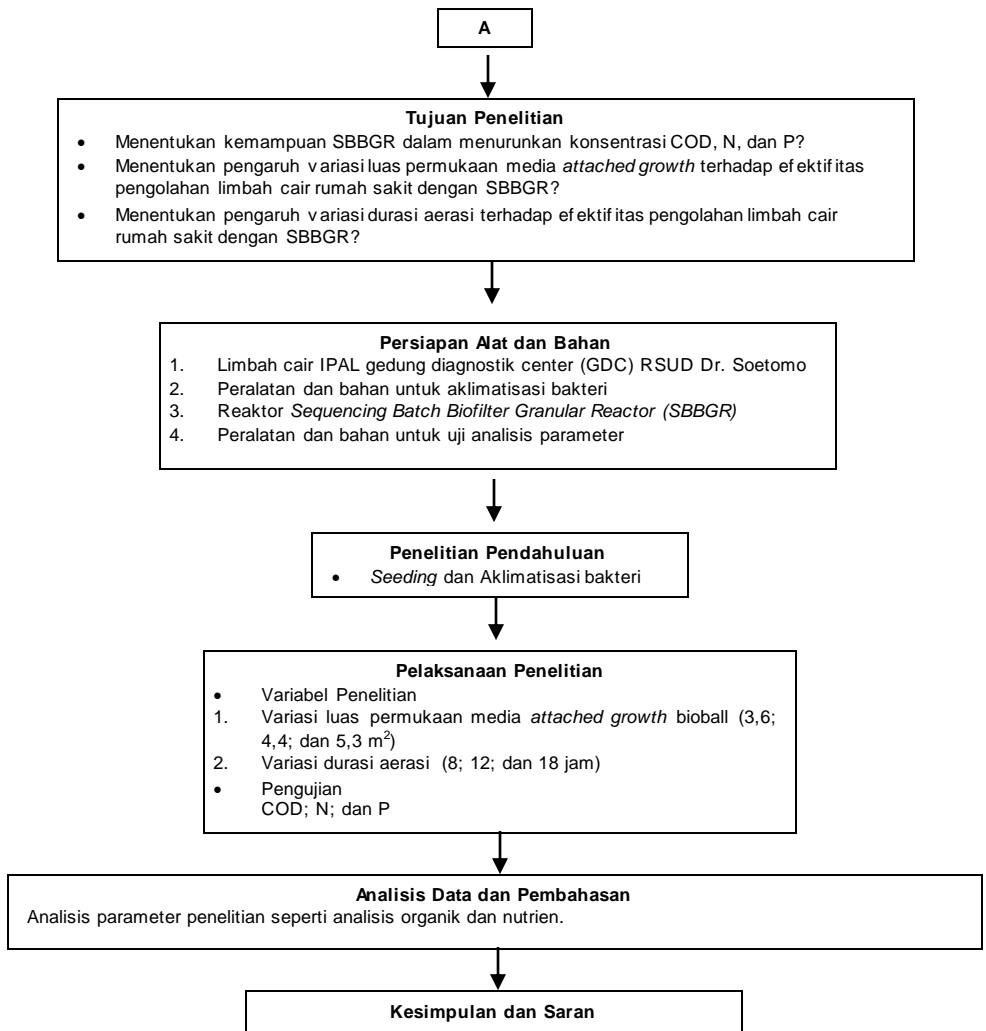
Studi literatur bertujuan untuk mendukung pelaksanaan penelitian. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini berupa jurnal ilmiah, buku teks, paper, dan literatur lain yang mendukung. Studi literatur yang dilakukan berkaitan dengan kondisi eksisting, kondisi ideal,

perbedaan *Sequencing Batch Reactor (SBR)* dengan *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor (SBBGR)*, dan kemampuan *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor (SBBGR)* dalam menurunkan konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3 - \text{N}$), dan fosfat (PO_4).

3.4 Ide Penelitian

Ide penelitian berasal dari gap antara kondisi eksisting dengan kondisi ideal kekinian yang berada di lapangan. "Aplikasi *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor (SBBGR)*" merupakan penelitian yang dilakukan dalam upaya pemanfaatan *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor (SBBGR)* untuk penurunan konsentrasi organik (COD), nitrogen amonia ($\text{NH}_3 - \text{N}$), dan fosfat (PO_4) dengan efisiensi yang tinggi.





Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.5 Persiapan Alat dan Bahan

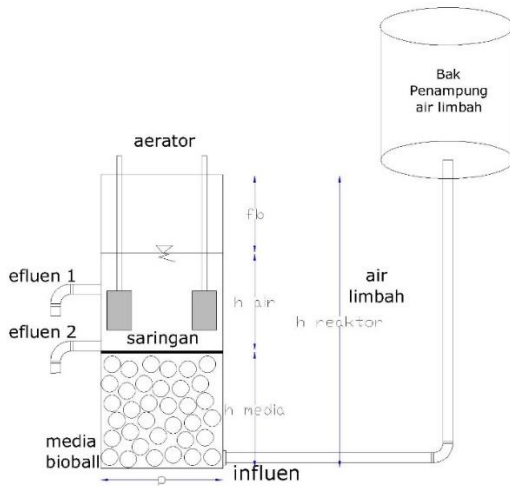
3.5.1 Persiapan Alat

1. Aklimatisasi bakteri yaitu : Gelas kimia; aerator; cawan penguap; desikator; erlenmeyer; kertas saring; spatula; batang pengaduk; neraca analitik; oven; termometer; *vaccum pump*; mikroskop; dan pH meter.
2. Peralatan yang digunakan dalam pengambilan limbah rumah sakit, yaitu, tali tambang, ember, dirigen, corong.
3. Peralatan yang digunakan sebagai reaktor yaitu, wadah kaca dengan tinggi 60cm, alas 25cm x 20cm. Media *attachd growth* yang digunakan yaitu media bioball dengan luas spesifik $443 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Media *attached growth* yang juga disebut material bed di dalam reaktor dibatasi oleh saringan kawat. Alat lainnya yaitu meja untuk meletakkan wadah inlet yang lebih tinggi untuk menciptakan aliran *upflow*, aerator untuk aerasi; pipa pvc; sambungan pipa; kran air; dan selang.

Di bawah ini adalah skema rangkaian reaktor dan dimensi masing-masing reaktor. SBBGR 1 untuk mempresentasikan reaktor dengan luas permukaan sebesar $3,6 \text{ m}^2$; SBBGR 2 untuk mempresentasikan reaktor dengan luas permukaan sebesar $4,4 \text{ m}^2$; dan SBBGR 3 untuk mempresentasikan reaktor dengan luas permukaan sebesar $5,3 \text{ m}^2$. Detail dimensi reaktor dapat dilihat pada tabel 3.1. dan tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Detail Dimensi Reaktor SBBGR

Reaktor	h media (cm)	h air limbah (cm)	<i>freeboard</i> (cm)	panjang (cm)	(lebar) (cm)
SBBGR 1	16	20	24	25	20
SBBGR 2	20	20	20	25	20
SBBGR 3	24	20	16	25	20



Gambar 3. 2 Gambar Skema Reaktor

3.5.2 Persiapan Bahan

1. Persiapan lumpur aktif
Lumpur yang digunakan diambil dari IPLT Keputih.
2. Persiapan limbah cair
Limbah cair rumah sakit diambil setiap 2 hari sekali dari IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo
3. Persiapan analisis sampel
Analisis dilakukan dengan menguji kadar dari parameter yang telah ditentukan yaitu COD; N; dan P.

3.6 Penelitian Pendahuluan

3.6.1 Uji Karakteristik Limbah Awal

Setelah mendapatkan perijinan dari RSUD Dr. Soetomo, selanjutnya limbah cair diuji parameter polutannya selama 7 hari. Parameter yang diukur yaitu parameter yang terdapat di dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, yaitu

BOD; COD; N; P; TSS; dan E-coli. Dilakukan juga uji durasi penyimpanan limbah.

3.6.2 Seeding dan Aklimatisasi Bakteri

Seeding dan Aklimatisasi Bakteri

Setelah mikroorganisme yang tumbuh cukup banyak ($VSS \pm 3000\text{mg/L}$) dan penyisihan COD telah tinggi, maka dapat dilakukan proses pengadaptasian atau aklimatisasi. Aklimatisasi dilakukan dengan cara mengganti secara bertahap air limbah penampungan hasil *seeding* dengan limbah asli. Penggantian dilakukan dimulai dengan perbandingan 10% limbah asli : 90% limbah penampungan. Penggantian dilakukan secara bertahap sampai penggantian 100% limbah asli. Proses aklimatisasi diberhentikan saat efisiensi penyisihan COD telah stabil (fluktuasi $\pm 5\%$) dan limbah yang tergantikan telah 100% limbah asli. (Astuti, 2007)

3.7 Pelaksanaan Penelitian

SBBGR dikatakan beroperasi saat sudah dicapai tahap aklimatisasi bakteri. Sistem operasi SBBGR ini berdasarkan pengolahan secara siklus, setiap siklus terdiri dari 3 fase konsekutif: pengisian (*filling*), aerasi (oksidasi biologis), dan *drawing*. Selama fase pengisian (bukan fase aerasi), sejumlah volume ditetapkan sebagai influen. Pada fase aerasi (oksidasi biologis), liquid di dalam reaktor secara kontinyu diaerasi dan didaur ulang melewati material biomass dengan catatan aerasi dimatikan selama 1 jam pertama fase ini dimaksudkan agar terjadi removal nitrogen). Pada akhirnya effluen yang telah diolah akan keluar dari reaktor SBBGR secara gravitasi.

3.7.1 Metode Perhitungan dan Prosedur Perhitungan

Porositas bed ($\text{m}^3 \text{ volume kosong} / \text{m}^3 \text{ volume bed}$) ditentukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Jimenez et al. (1998). Metode ini membenarkan evaluasi, dengan menggunakan jiplakan *dextran blue*, dari waktu tinggal pada sebuah *submerged filter* dan kemudian perhitungan porositas bed. Konsentrasi

biomassa yang dievaluasi dalam hal berat kering, sebagai TSS, pada sebuah volume bed yang representative. Perhitungan ini mengumpulkan bersama granul dan biomassa yang menempel pada *carrier*. Gaya geser hidrodinamik dihitung dengan menggunakan pengembangan prosedur oleh penemu. Berdasarkan prosedur ini, gaya geser (T) dihitung dengan persamaan berikut:

$$T = \frac{25 \mu F (1-\varepsilon)}{D_p S_R \varepsilon^2} + \frac{1,75 \rho F^2}{D_p S_R^2 \varepsilon^2}$$

Dengan : T adalah viskositas fluida absolut (kg/m.s), ρ adalah densitas fluida (kg/m³), ε adalah porositas bed (m³ volume kosong / m³ volume bed), D_p adalah diameter ekuivalen (m) dari partikel filling (*carrier* atau granular), F adalah *flow rate* resirkulasi (m³/s), S_R adalah *section area* (m²/s).

Persamaan (1) memberikan perhitungan dari gaya geser setelah diukur bed porositas dan D_p , dalam kondisi (F , S_R , μ , ρ) diketahui. Porositas bed diujicobakan perhitungannya D_p dihitung dengan mengukur *pressure loss* (Δ_p) dan mengaplikasikan persamaan berikut :

$$\frac{(\Delta_p)}{h} \frac{D_p S_R \varepsilon^2}{\rho F^2} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)} = 150 \frac{S_R \mu (1-\varepsilon)}{\rho F D_p} + 1,75$$

(Di Laconi, 2005)

3.8 Variasi Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan SBBGR yang dioperasikan dengan dua variasi yaitu, variasi luas permukaan dan variasi durasi aerasi, detail variasi ini dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3. 2 Variasi Penelitian

Variabel	Durasi Aerasi		
	8 jam	12 jam	18 jam
Luas media 3,6 m ² (SBBGR 1)	A1	A2	A3
Luas media 4,4 m ² (SBBGR 2)	B1	B2	B3
Luas media 5,3 m ² (SBBGR 3)	C1	C2	C3

3.9 Uji Parameter

Metode analisis parameter menggunakan metode yang masih berlaku dan dapat dilaksanakan di laboratorium Teknik Lingkungan ITS. Parameter yang diuji pada penelitian ini dibagi menjadi 2 (dua), yaitu parameter utama dan parameter monitor. Parameter utama meliputi konsentrasi COD, N, dan P sedangkan parameter monitor adalah PH dan suhu. Dan pada tahap penelitian pendahuluan juga dilakukan analisis BOD dan TSS.

1. **COD**
Metode pengukuran COD yang digunakan mengacu pada SNI 6989.72:2009 (menggunakan refluks tertutup secara spektrofotometri)
2. **N**
Metode pengukuran N yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.30:2005
3. **P**
Metode pengukuran P yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.31:2005
4. **pH**
Pengukuran pH dilakukan pada seluruh sampel yang diambil. Metode yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.11-2004 (cara uji derajat keasaman dengan menggunakan alat pH meter).
5. **Suhu**
Metode pengukuran suhu yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.23-2005 (cara uji suhu dengan termometer).
6. **TSS**
Metode pengukuran TSS yang digunakan mengacu pada SNI 06-6989.3--2004 (menggunakan gravimetri).

3.10 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan setelah mendapatkan data yang diperoleh selama penelitian. Hasil analisis akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik, serta dianalisis secara deskriptif.

Pembahasan hasil penelitian ini dilakukan berdasarkan tujuan awal penelitian, serta harus disesuaikan dengan studi literatur yang telah dilakukan. Literatur tersebut digunakan sebagai pendukung maupun perbandingan hasil yang diperoleh. Output data yang akan dibahas adalah perbandingan tingkat efisiensi proses pengolahan dengan *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor* berdasarkan variabel luas permukaan media *attached growth* dan variasi durasi aerasi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Awal Karakteristik Air Limbah IPAL Gedung Diagnostik Center (GDC) RSUD Dr. Soetomo dan Lumpur IPLT Keputih

Pada penelitian ini dilakukan analisis karakteristik awal air limbah yang diambil dari inlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Gedung Diagnostik Center (GDC) RSUD Dr. Soetomo, Kota Surabaya. Analisis karakteristik awal air limbah rumah sakit ini berupa analisis terhadap parameter – parameter yang terdapat di dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, adapun parameter – parameter tersebut adalah: suhu, pH, BOD₅, COD, TSS, NH₃-N bebas, dan PO₄. Tujuan analisis karakteristik awal ini diantaranya yaitu dapat mengetahui rasio BOD/COD untuk ditentukan dapat atau tidaknya dilakukan pengolahan limbah tersebut secara biologis dan juga dapat diketahui parameter - parameter yang menjadi permasalahan utama dari limbah cair rumah sakit. Selanjutnya dilakukan uji durasi penyimpanan limbah yang bertujuan untuk mengetahui besaran perubahan terhadap limbah yang disimpan tanpa alat pendingin. Analisis karakteristik awal juga dilakukan terhadap lumpur Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT), Keputih, Kota Surabaya yang digunakan sebagai sumber mikroorganisme dalam penelitian ini. Analisis ini berupa analisis *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) yang bertujuan untuk mengetahui besaran konsentrasi padatan tersuspensi nutrisi yang ada di dalam lumpur.

Analisis parameter COD; BOD; dan rasio BOD/COD dilakukan selama beberapa hari dan didapatkan hasil nilai COD tertinggi yaitu 454,90 mg COD/L dan nilai COD terendah yaitu 220,95 mg COD/L. Nilai BOD tertinggi yaitu 397,39 mg BOD/L dan nilai BOD terendah yaitu 56,38 mg BOD/L. Dari analisis BOD dan COD maka didapatkan rata-rata rasio BOD/COD dari limbah rumah sakit yaitu sebesar 0,47.

Menurut Mangkoedihardjo (2010:235-239) , Rasio BOD/COD tidak lebih dari sebuah indikator untuk dampak output dari zat organik

yang berada pada air, limbah, lindi, kompos dan lain-lain baik dari alam maupun buatan. Ketika suatu limbah tingkat degradasinya semakin tinggi, maka rasio BOD/COD tersebut akan berbanding lurus menjadi semakin besar. Terdapat zona-zona pada rasio BOD/COD yang terbagi menjadi tiga, zona stabil, zona *biodegradable*, dan zona toksik. Rasio BOD/COD yang digunakan untuk proses biologis adalah di dalam range *biodegradable* yaitu 0,2-0,5 (Mangkoediharjo, 2010). Hal serupa dinyatakan oleh (Fresenius et al,1989) rasio BOD/COD antara 0,2 dan 0,5 dapat diolah dengan proses biologis, tetapi proses dekomposisinya lebih lambat karena mikroorganisme pengurai membutuhkan aklimatisasi dengan limbah tersebut.

Hasil analisis awal COD, BOD, dan rasio BOD/COD selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Karakteristik Awal COD, BOD, dan rasio BOD/COD Air Limbah IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo

Tanggal	Nilai COD (mg/L)	Nilai BOD (mg/L)	Rasio BOD/COD
Uji Karakteristik Awal			
3/3/2017	377.14	168.71	0.45
4/3/2017	453.33	282.53	0.62
5/3/2017	454.90	397.39	0.87
6/3/2017	426.67	189.81	0.44
7/3/2017	460.95	119.81	0.26
13/3/2017	414.20	56.38	0.14
17/3/2017	220.95	115.65	0.52
20/3/2017	274.29	132.85	0.48
Rata-rata	385.30	182.89	0.47

Analisis yang dilakukan selanjutnya yaitu analisis nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan analisis fosfat (PO_4), analisis ini juga dilakukan beberapa hari untuk menunjukan data dengan perubahan yang tidak signifikan dari hari ke hari. Didapatkan hasil nilai nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) tertinggi yaitu 85,96 mg/L dan nilai nitrogen amonia terendah ($\text{NH}_3\text{-N}$) yaitu 38,10 mg/L. Nilai fosfat (PO_4) tertinggi yaitu 12,85 mg /L dan nilai fosfat (PO_4) terendah yaitu 8,48 mg /L. Hasil analisis nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) dan analisis fosfat (PO_4) selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Karakteristik Awal Nitrogen Amonia dan Fosfat Air Limbah IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo

Tanggal	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	PO_4 (mg/L)
Uji Karakteristik Awal		
3/3/2017	70.63	8.48
4/3/2017	85.96	14.85
5/3/2017	48.05	12.80
6/3/2017	38.10	10.85
7/3/2017	63.72	12.85
13/3/2017	42.65	11.34
Rata-rata	58.18	11.86

Dalam penelitian ini agar air limbah yang digunakan representatif maka digunakan air limbah asli untuk setiap *running* reaktor, untuk memudahkan proses pengambilan dan pengangkutan air limbah agar limbah tidak perlu diambil langsung setiap hari, maka dilakukan uji durasi penyimpanan limbah. Dengan uji durasi penyimpanan limbah tanpa alat pendingin dapat diketahui seberapa besar penurunan kadar COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, dan PO. Sehingga selanjutnya pengangkutan limbah tidak perlu dilakukan setiap hari. Persentase penurunan kadar limbah saat disimpan tanpa alat pendingin dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Uji Durasi Penyimpanan Air Limbah IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo

Uji Durasi Waktu Penyimpanan selama 2 hari			
Parameter	COD	(NH ₃ -N)	(PO ₄)
Persen penurunan	< 10%	< 2 %	< 10%
Uji Durasi Waktu Penyimpanan selama 4 hari			
Parameter	COD	(NH ₃ -N)	(PO ₄)
Persen penurunan	< 15%	< 3%	< 20%

Agar limbah rumah sakit yang digunakan tetap representatif, maka dipilih durasi penyimpanan limbah yaitu selama 2 hari. Maka pengambilan dan pengangkutan limbah dari IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo dilakukan setiap 2 hari sekali.

4.2 Seeding dan Aklimatisasi

Pada tahap aklimatisasi, limbah rumah sakit 30% dicampur dengan gula 30% dan lumpur 40% di dalam reaktor yang dimasukkan media *attached growth* berupa bioball dengan luas spesifik 450 m²/m³, proses aklimatisasi ini dilakukan selama 10 hari untuk mendapatkan *steady state*. Pada tahap ini *material bed* masih ditempatkan dalam satu wadah dengan tujuan agar sebelum dipindahkan ke masing-masing reaktor agar di dalam setiap reaktor saat *running* berisikan *material bed* dengan kondisi yang sama.

Tabel 4. 4 Persen Removal pada Tahap Aklimatisasi Lumpur

Parameter	COD awal (mg/L)	Removal COD (mg/L)	Persen Removal (%)
Lumpur IPLT 40% + Gula 30% + Air Limbah 30%			
30 Maret 2017	11052.63		
31 Maret 2017	9473.68	1578.95	14.29
1 April 2017	7105.26	2368.42	25.00
2 April 2017	5526.32	1578.95	22.22

3 April 2017	3157.89	2368.42	42.86
4 April 2017	2368.42	789.47	25.00
Ditambahkan lumpur IPLT			
4 April 2017	16578.24		
5 April 2017	13420.48	3157.89	19.05
6 April 2017	5526.08	7894.74	58.82
7 April 2017	789.44	4736.84	85.71

Menurut Santoso dan Budi, 2008 Lumpur aktif sebagai sumber mikroba yang bertambah besar, maka mikroba sebagai zat pengurai makin banyak, sehingga zat pencemar akan terurai dengan baik.

Pada hari ke-lima aklimatisasi, bakteri dalam lumpur diindikasikan mati karena terjadi pemisahan antara padatan dan supernatan pada *microbial bed* tersebut. Dan berdasarkan analisis MLSS terjadi penurunan yang cukup signifikan yang mengindikasikan bahwa pertumbuhan bakteri pada lumpur tidak baik. Sehingga selanjutnya dilakukan penambahan ulang lumpur IPLT dengan membuang sebagian supernatan pada *microbial bed*, lalu ditambahkan lumpur baru tersebut dengan perbandingan 50:50.

Hasil analisis MLSS pada *microbial bed* dalam proses aklimatisasi dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Analisis MLSS pada Tahap Aklimatisasi

Parameter	MLSS (mg/L)	Arah pertumbuhan mikroba
Lumpur IPLT 40% + Gula 30% + Air Limbah 30%		
30 Maret 2017	8050	-
31 Maret 2017	4400	turun
1 April 2017	3900	turun
2 April 2017	2700	turun
3 April 2017	1200	turun

4 April 2017	400	turun
Ditambahkan lumpur IPLT 50:50		
4 April 2017	17100	naik
5 April 2017	19900	naik
6 April 2017	21100	naik
7 April 2017	20500	turun

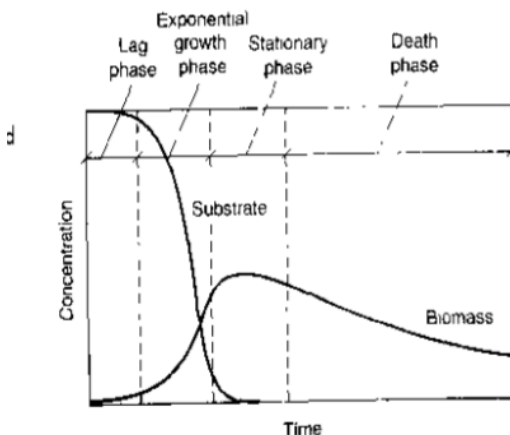
Berdasarkan hasil analisis MLSS pada tahap aklimatisasi tersebut indikasi adanya bakteri yang mati pada lumpur dapat terbukti. Dan penambahan lumpur IPLT yang dilakukan berhasil meningkatkan pertumbuhan bakteri pada *microbial bed* tersebut. Selanjutnya setelah mengalami kenaikan, MLSS turun kembali tetapi penurunannya stabil.

Tabel 4. 6 Analisis Lanjutan MLSS pada Tahap Aklimatisasi

Ditambahkan lumpur IPLT 50:50	MLSS (mg/L)	Arah pertumbuhan mikroba
7 April 2017	20500	turun
8 April 2017	15600	turun
9 April 2017	12000	turun
10 April 2017	9000	stabil
11 April 2017	8700	stabil
12 April 2017	9100	stabil

Kenaikan dan penurunan pertumbuhan mikroorganisme ini terjadi sesuai dengan pola pertumbuhannya. Menurut Metcalf dan Eddy (2014) Bakteri dapat bereproduksi melalui pembelahan biner, mode aseksual, atau dengan tunas. Pada umumnya, bakteri bereproduksi secara pembelahan biner, yaitu sel asli nya menjadi dua organisme baru. Waktu yang dibutuhkan untuk setiap pembelahan, yang disebut waktu generasi, dapat bermacam-macam dari sehari-hari hingga kurang dari 20 menit. Dalam sistem pengolahan secara biologis, bakteri tidak akan terus membelah hingga tak terbatas karena batasan lingkungan, seperti ketersediaan substrat dan nutrisi.

Pertumbuhan bakteri di dalam suatu reaktor *batch* dikategorikan dengan fase yang dapat diidentifikasi seperti gambar berikut.



Gambar 4.1 Fase-Fase Proses Pertumbuhan Biomassa dengan Perubahan Substrat dan Biomassa Dibandingkan dengan Waktu.

Kurva pada gambar di atas menunjukkan apa yang terjadi di dalam reaktor *batch* pada saat waktu nol, substrat dan nutrisi berada dalam jumlah yang berlebih dan hanya ada populasi biomassa yang sangat sedikit. Selanjutnya substrat akan dikonsumsi, empat fase pertumbuhan yang berbeda berkembang secara bertahap.

1. Fase lag. Di dalam penambahan biomassa, fase lag menggambarkan waktu yang dibutuhkan oleh organisme untuk beraklimatisasi terhadap lingkungan baru nya sebelum terjadi pembelahan sel dan biomassa. Selama fase lag ini, akan dimungkinkan terjadi induksi enzim dan atau sel-sel tersebut akan beraklimatisasi untuk mengubah salinitas, pH, atau suhu. Lama berlangsungnya fase lag ini juga dapat dipengaruhi oleh kemampuannya untuk menghitung konsentrasi biomassa yang rendah selama fase inisial.
2. Fase pertumbuhan eksponensial. Selama fase pertumbuhan eksponensial, sel-sel bakteri memperbanyak diri pada laju maksimumnya, tidak ada batasan substrata tau nutrient. Kurva pertumbuhan biomassa meningkat secara eksponensial pada

fase ini. Dengan substrat dan nutrient yang tidak terbatas, satu-satunya faktor yang mempengaruhi laju pada pertumbuhan eksponensial ini adalah suhu.

3. Fase statis. Selama fase ini, sisa konsentrasi biomassa relative konstan dengan waktu. Pada fase ini, pertumbuhan bakteri tidak lagi eksponensial, dan sejumlah pertumbuhannya diseimbangkan oleh kematian sel-sel.
4. Fase kematian. Dalam fase kematian, substrat telah habis sehingga tidak ada lagi pertumbuhan yang terjadi, dan perubahan konsentrasi biomassa dikarenakan oleh kematian sel. Penurunan eksponensial dalam konsentrasi biomassa sering diamati sebagai fraksi konstan dari sisa biomassa yang hilang setiap hari (Metcalf dan Eddy, 2014).

Saat perubahan MLSS sudah tidak signifikan maka lumpur ini dapat dikatakan sudah mencapai stabil, dalam penelitian ini yaitu ± 8000 mg/L.

4.3 Pelaksanaan Penelitian (Running)

Pelaksanaan penelitian berlangsung selama ± 45 hari, dimulai sejak 3 Maret 2017 sampai dengan 17 April 2017. SBBGR diletakkan di dalam *workshop* Jurusan Teknik Lingkungan dimaksudkan agar penelitian tidak dipengaruhi oleh cuaca hujan maupun panas.

IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo sebagai tempat pengambilan air limbah juga berada di lantai *basement* sehingga air limbah tidak terpengaruh oleh cuaca hujan maupun panas. Kondisi inlet IPAL GDC RSUD Dr. Soetomo dapat dilihat pada gambar 4.2.

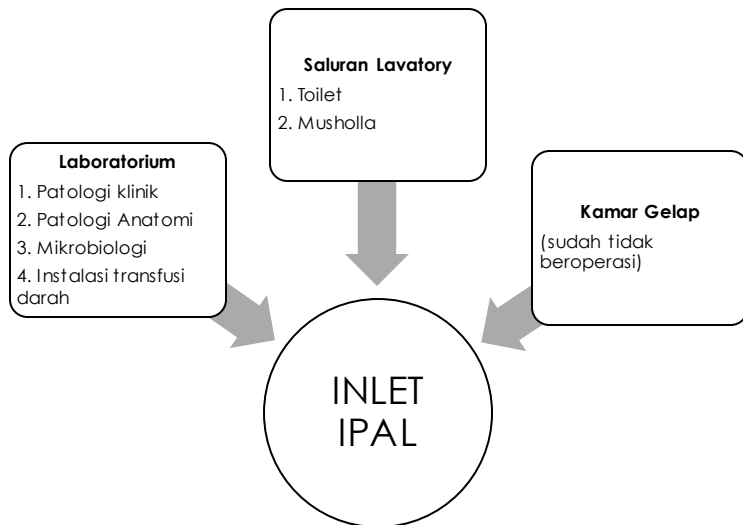


Gambar 4. 2 Inlet IPAL RSUD Dr. Soetomo

Berdasarkan hasil wawancara dari Bapak Agus Hariyadi selaku Koordinator Sanitasi Lingkungan di Gedung Diagnostik Center (GDC) atau disebut juga Gedung Pusat Diagnostik Terpadu (GDPT) di RSUD Dr. Soetomo dijelaskan bahwa limbah cair yang masuk menuju IPAL gedung ini berasal dari tiga sumber, yaitu

- (1) Laboratorium. Terdapat empat buah laboratorium yang berada di gedung ini yang limbahnya dialirkan menuju IPAL, yaitu Laboratorium Patologi Klinik, Laboratorium Patologi Anatomi, Laboratorium Mikrobiologi, dan Laboratorium Instalasi Transfusi Darah.
- (2) Saluran *lavatory*. Limbah cair dari kegiatan domestik di toilet-toilet yang berada di gedung ini akan dialirkan menuju IPAL. Selain toilet, limbah dari musholla juga akan dialirkan menuju IPAL.
- (3) Kamar Gelap. Kamar gelap ini sejak 2013 sudah tidak dioperasikan, karena ada teknologi lebih canggih untuk mencetak hasil rontgen, sehingga tidak ada lagi limbah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) yaitu merkuri yang masuk ke sistem IPAL.

Aliran sumber inlet IPAL dapat diilustrasikan dengan gambar 4.3



Gambar 4. 3 Sumber Inlet IPAL GDC RSUD DR. SOETOMO

Air limbah yang digunakan di dalam reaktor pada penelitian ini telah mengalami *pre-treatment* berupa penetralan pH sehingga pH air limbah berada dalam rentang 6-8. Penetralan pH tersebut dilakukan oleh pihak RSUD Dr. Soetomo. Kapasitas debit setiap reaktor yang digunakan dalam penelitian yaitu masing - masing 10L air limbah. Sedangkan luas permukaan media *attached growth* yang digunakan sebagai variasi dalam penelitian ini yaitu 3,6 m²; 4,4 m²; dan 5,3 m². Media *attached growth* tersebut merupakan bioball yang telah dicampur dengan lumpur IPLT yang sebelumnya dilakukan pada proses aklimatisasi dengan air limbah rumah sakit dalam penelitian pendahuluan. Selanjutnya reaktor dengan luas permukaan media *attached growth* 3,6 m² disebut SBBGR 1, reaktor dengan luas permukaan media *attached growth* 4,4 m² disebut SBBGR 2, dan reaktor dengan luas permukaan media *attached growth* 5,3 m² disebut SBBGR 3. Ketiga reaktor, yaitu SBBGR 1, SBBGR 2, dan SBBGR 3 akan dioperasikan dengan masing-masing 3 variasi durasi aerasi yaitu 8 jam, 12 jam, dan 18 jam. Reaktor SBBGR dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4. 4 Reaktor SBBGR yang sedang beroperasi

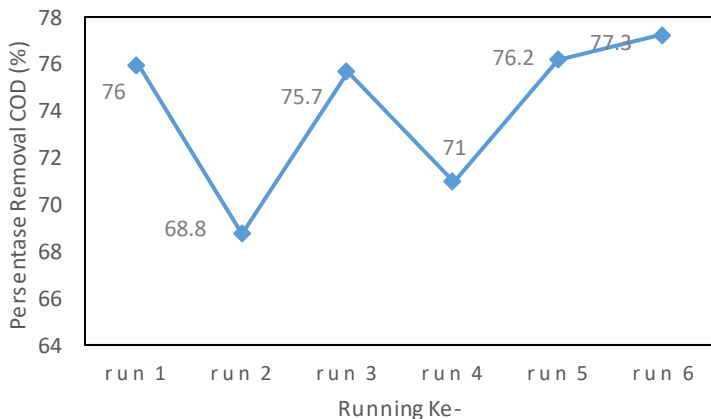
Satu jam pertama sebelum aerasi dimulai, sesaat setelah air limbah telah dialirkan ke dalam reaktor, aerator tidak dioperasikan terlebih dahulu dengan tujuan agar terjadi proses oksidasi *removal* nitrogen.

4.3.1 Kinerja SBBGR dalam Penyisihan Konsentrasi Organik (COD), Nitrogen-Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan Fosfat (PO_4)

Selama penelitian masing-masing reaktor SBBGR dioperasikan sebanyak enam kali *running* dan digunakan variasi luas permukaan media yaitu reaktor dengan luas permukaan media $3,6 \text{ m}^2$; reaktor dengan luas permukaan media $4,4 \text{ m}^2$; dan reaktor dengan luas permukaan media $5,3 \text{ m}^2$; variasi yang lainnya yaitu variasi durasi aerasi dengan rincian, reaktor dengan durasi aerasi 8 jam, reaktor dengan durasi aerasi 12 jam, dan reaktor dengan durasi aerasi 18 jam. Kemudian dari hasil *removal* yang dicapai oleh masing-masing reaktor selama enam kali *running* dicari nilai rata-rata nya. Kinerja SBBGR dilihat berdasarkan persen *removal* yang paling optimum dari serangkaian variasi penelitian yang digunakan, baik pada *removal* konsentrasi organik (COD), *removal* nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan *removal* fosfat (PO_4).

- Kinerja SBBGR dalam removal konsentrasi organik (COD)

Konsentrasi organik (COD) merupakan salah satu parameter utama dalam penelitian ini. Kinerja SBBGR dalam pengolahan limbah cair rumah sakit yang diamati berdasarkan enam kali operasi reaktor dengan influen air limbah yang berbeda setiap kali *running*, pada reaktor SBBGR dengan luas permukaan media 5,3 m² dan durasi aerasi 18 jam menunjukkan bahwa rentang removal COD adalah 68,8 % - 77,3 %. Sedangkan rata-rata removal COD adalah 74,2 %. Selengkapnya kinerja SBBGR terhadap removal COD dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4. 5 Kinerja SBBGR terhadap Removal COD

Removal COD ini terlihat mencapai angka efisiensi tertinggi yaitu pada running ke 5 dan running ke 6. Hal ini dimungkinkan terjadi karena influen COD air limbah yang masuk pada running ke 5 dan 6 cenderung lebih rendah, berurutan 414 mg/L dan 296 mg/L. Sedangkan influen COD pada waktu running lainnya berkisar antara 500 – 650 mg/L.

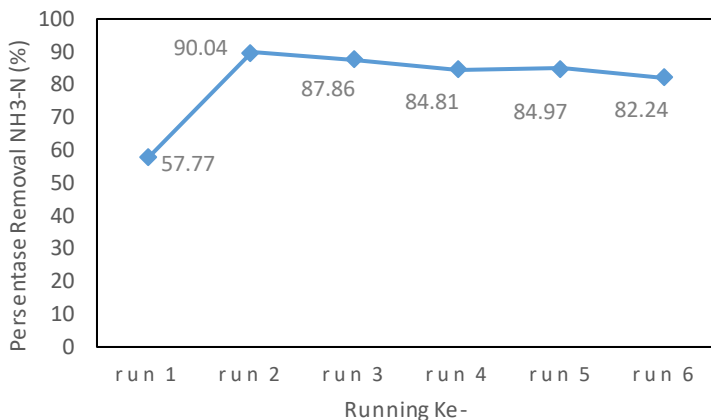
Data hasil penelitian menunjukkan, persentase removal konsentrasi organik (COD) mencapai lebih dari 50% meskipun dari

data uji pendahuluan diketahui rasio BOD/COD pada limbah cair rumah sakit tidak lebih dari 0,5. Menurut Metcalf, 2014 hal tersebut terjadi karena terdapat fraksi-fraksi COD. Fraksi utama COD meliputi COD partikulat dan COD terlarut. Dalam studi pengolahan secara biologis, fraksi COD partikulat dan fraksi COD terlarut dikategorikan lebih spesifik untuk memperoleh pengolahan air limbah. Fraksi terbaru yang digunakan meliputi COD terlarut yang mudah terdegradasi, COD koloid dan COD partikulat yang sulit terdegradasi, COD terlarut yang tidak dapat terdegradasi, dan COD koloid dan COD partikulat yang tidak dapat terdegradasi. COD terlarut yang mudah terdegradasi yang sering dipecahkan menjadi COD kompleks yang dapat mengalami fermentasi menjadi asam lemak volatile (VFAs) dan rantai pendek asam lemak volatile (VFAs). Tetapi sayangnya, hanya ada sedikit standarisasi mengenai definisi yang membedakan COD terlarut dengan COD partikulat. Meskipun terdapat filtrasi sebagai teknik yang digunakan untuk memfraksikan sampel, distribusi relatif antara COD terlarut dan COD partikulat akan sangat dipengaruhi oleh ukuran pori pada filter. Metode alternatif yang digunakan untuk menentukan COD terlarut meliputi presipitasi dari padatan tersuspensi dan suatu porsi dari materi koloid. COD pada cairan yang bening diartikan sebagai COD terlarut.

- Kinerja SBBGR dalam removal nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Konsentrasi nitrogen amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) juga merupakan salah satu parameter utama dalam penelitian ini. Kinerja SBBGR dalam pengolahan limbah cair rumah sakit yang diamati berdasarkan enam kali operasi reaktor dengan influen air limbah yang berbeda setiap kali *running*, pada reaktor SBBGR dengan luas permukaan media $5,3 \text{ m}^2$ dan durasi aerasi 18 jam menunjukkan bahwa rentang removal $\text{NH}_3\text{-N}$ adalah 57,8 % - 90,0 %. Sedangkan rata-rata removal $\text{NH}_3\text{-N}$ adalah 81,3 %. Selengkapnya kinerja SBBGR terhadap removal $\text{NH}_3\text{-N}$ dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah

ini.



Gambar 4. 6 Kinerja SBBGR terhadap Removal NH₃-N

Ammonia dihasilkan dari dekomposisi senyawa organik yang mengandung nitrogen dan hidrolisis urea di air limbah. Konsentrasi amonium di permukaan dan air tanah biasanya rendah. Analisa amoniak dapat dilakukan dengan metode titrimetri.

Air tanah hanya mengandung sedikit NH₃, karena NH₃ dapat menempel pada butir-butir tanah liat selama infiltrasi air ke dalam tanah dan sulit terlepas dari butir-butir tanah liat tersebut. Kadar amoniak yang tinggi pada air sungai selalu menunjukkan adanya pencemaran. Pada air minum kadarnya harus nol dan pada air sungai harus dibawah 0,5 mg/L (Alaerts, 1984).

Kadar NH₃-N dalam influen air limbah rumah sakit ini tergolong sangat tinggi yaitu berkisar antara 60 – 90 mg/L. Hal ini dikarenakan dari sumber inlet IPAL yang menerima air dari air limbah kegiatan laboratorium patologi klinik, laboratorium patologi anatomi, dan laboratorium mikrobiologi. Dari laboratorium tersebut kegiatan-kegiatan yang dilakukan banyak yang memerlukan pengolahan sampel dengan temperature yang sangat rendah,

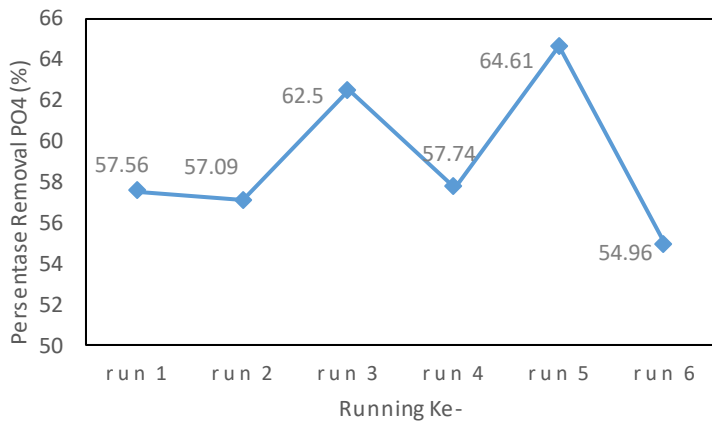
seperti kriopreservasi. Menurut Tatan Kostaman, 2011 teknik kriopreservasi merupakan teknik penyimpanan sel hewan, tumbuhan ataupun materi genetika lain (termasuk semen) dalam keadaan beku. Dalam hal ini, teknik kriopreservasi merupakan teknik penyimpanan yang dilakukan pada suhu yang sangat rendah (-196°C) dalam nitrogen cair.

Nitrogen cair adalah cairan kriogenik. Ketika disimpan dalam wadah tertutup rapat yang tepat seperti labu dewar, nitrogen cair dapat dipindahkan tanpa banyak mengalami kehilangan akibat penguapan (Kaganer, 1967).

Seperti es kering, penggunaan utama nitrogen cair adalah sebagai refrigerant. Di antara kegunaan lainnya, nitrogen cair digunakan dalam kriopreservasi darah, sel reproduksi (sperma dan sel telur), dan bahan serta sampel biologis lainnya. Nitrogen cair digunakan dalam tindakan klinis untuk krioterapi untuk menghilangkan kista dan kutil pada kulit (Ahmed, dkk., 2001).

- Kinerja SBBGR dalam removal fosfat (PO_4)

Konsentrasi fosfat (PO_4) merupakan salah satu parameter utama yang juga digunakan dalam penelitian ini. Kinerja SBBGR dalam pengolahan limbah cair rumah sakit yang diamati berdasarkan enam kali operasi reaktor dengan influen air limbah yang berbeda setiap kali running, pada reaktor SBBGR dengan luas permukaan media $5,3 \text{ m}^2$ dan durasi aerasi 18 jam menunjukkan bahwa rentang removal PO_4 adalah 54,9 % - 64,6 %. Sedangkan rata-rata removal PO_4 adalah 59,1 %. Selengkapannya kinerja SBBGR terhadap removal PO_4 dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4. 7 Kinerja SBBGR terhadap Removal PO₄

Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan (Dugan, 1972).

Fosfat terdapat dalam air alam atau air limbah sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat dan fosfat organis. Setiap senyawa fosfat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat di dalam sel organisme air. Di daerah pertanian ortofosfat berasal dari bahan pupuk yang masuk ke dalam sungai atau danau melalui drainase dan aliran air hujan. Polifosfat dapat memasuki sungai melalui air buangan penduduk dan industri yang menggunakan bahan deterjen yang Universitas Sumatera Utara mengandung fosfat, seperti industri logam dan sebagainya. Fosfat organis terdapat dalam air buangan penduduk (tinja) dan sisa makanan. Fosfat organis dapat pula terjadi dari ortofosfat yang terlarut melalui proses biologis karena baik bakteri maupun tanaman menyerap fosfat bagi pertumbuhannya. Keberadaan senyawa fosfat dalam air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Bila kadar fosfat dalam air rendah ($< 0,01$ mg P/L), pertumbuhan ganggang akan terhalang, keadaan ini dinamakan oligotrop. Sebaliknya bila kadar fosfat dalam air tinggi,

pertumbuhan tanaman dan ganggang tidak terbatas lagi (kadaan eutrop), sehingga dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut air. Hal ini tentu sangat berbahaya bagi kelestarian ekosistem perairan (Alaerts, 1984).

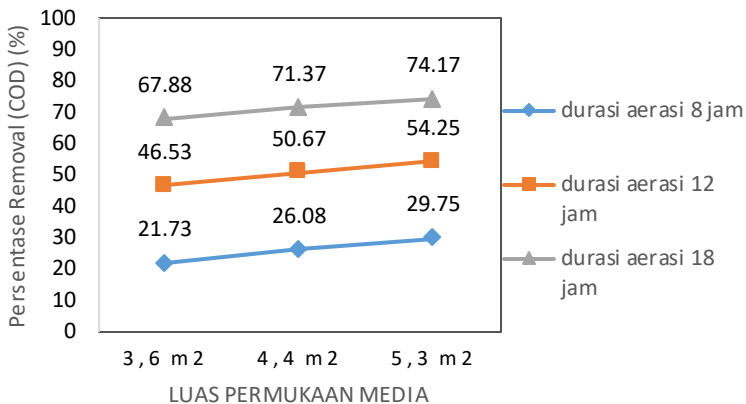
Nilai fosfat dalam influen limbah rumah ini juga tergolong tinggi pada kisaran 7 – 10 mg/L.

4.3.2 Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal Konsentrasi Organik (COD), Nitrogen Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), dan Fosfat (PO_4)

- Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal Konsentrasi Organik (COD)

Selama penelitian masing-masing reaktor SBBGR dioperasikan sebanyak enam kali *running* dan digunakan variasi luas permukaan media yaitu reaktor dengan luas permukaan media 3,6 m²; reaktor dengan luas permukaan media 4,4 m²; dan reaktor dengan luas permukaan media 5,3 m². Pengaruh luas permukaan media terhadap removal COD menunjukkan bahwa dengan luas permukaan media 3,6 m² menghasilkan persentase removal COD pada rentang 21,73% - 67,88 %; luas permukaan media 4,4 m², menghasilkan persentase removal COD pada rentang 26,08 % - 71,37 %; dan luas permukaan media 5,3 m² menghasilkan persentase removal COD pada rentang 29,75% - 74,17 %.

Berdasarkan data penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin besar luas permukaan media pada SBBGR maka semakin besar juga removal COD. Data selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4. 8 Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal COD

Hal ini dikarenakan luas permukaan media dari biofilter termasuk hal yang penting, karena sebagai tempat tumbuh dan menempel mikroorganisme, untuk mendapatkan unsur-unsur kehidupan yang dibutuhkannya, seperti nutrisi dan oksigen. Dua sifat yang paling penting yang harus ada dari media adalah, luas permukaan dari media, karena semakin luas permukaan media maka semakin besar jumlah biomassa per-unit volume. Selain itu, persentase ruang kosong, karena semakin besar ruang kosong maka semakin besar kontak biomassa yang menempel pada media pendukung dengan substrat yang ada dalam air buangan (Said dan Ineza, 2002).

Beragam jenis mikroorganisme dapat ditemukan baik pada proses pengolahan *suspended growth* atau *attached growth* yang berperan dalam proses penyisihan konsentrasi organik. Bakteri heterotropik aerobik yang ditemukan pada proses-proses ini dapat memproduksi biopolymer ekstraseluler yang hasilnya akan membentuk flok-flok (atau biofilm yang menempel pada proses

attached growth) yang dapat dipisahkan dari efluen yang telah diolah secara pengendapan dengan gravitasi yang konsentrasi padatan tersuspensinya relatif kecil dan sedikit kandungan bakteri nya (Metcalf dan Eddy, 2003).

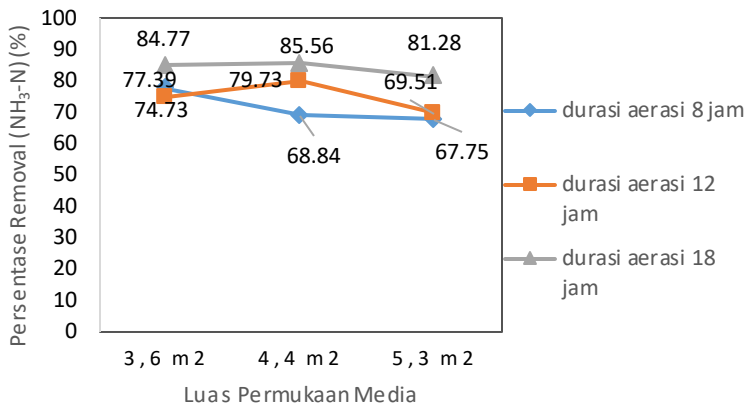
Protozoa juga memiliki peran penting dalam proses pengolahan secara biologis. Dengan mengkonsumsi bakteri bebas dan partikel koloid, protozoa membantu proses penjernihan efluen. Protozoa membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan bakteri heterotrofik aerobik, dengan konsentrasi oksigen terlarut di atas 1,0 mg/L, dan sangat sensitive terhadap senyawa toksik (Metcalf dan Eddy, 2003).

Proses *attached growth* aerobik bergantung pada ketebalan biofilm, yang pada umumnya memiliki ekologi mikroba yang lebih kompleks daripada lumpur aktif dengan lapisan yang mengandung bakteri, jamur, protozoa, dan kemungkinan juga adanya cacing anelida, cacing pipih, dan nematode (WEF, 2000)

- Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal Nitrogen Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Selama penelitian masing-masing reaktor SBBGR dioperasikan sebanyak enam kali *running* dan digunakan variasi luas permukaan media yaitu reaktor dengan luas permukaan media 3,6 m²; reaktor dengan luas permukaan media 4,4 m²; dan reaktor dengan luas permukaan media 5,3 m². Pengaruh luas permukaan media terhadap removal $\text{NH}_3\text{-N}$ menunjukkan bahwa dengan luas permukaan media 3,6 m² menghasilkan persentase removal $\text{NH}_3\text{-N}$ pada rentang 74,73 % - 84,77 %; luas permukaan media 4,4 m², menghasilkan persentase removal $\text{NH}_3\text{-N}$ pada rentang 68,84 % - 85,56 %; dan luas permukaan media 5,3 m² menghasilkan persentase removal $\text{NH}_3\text{-N}$ pada rentang 67,75% - 81,28 %.

Berdasarkan data penelitian tersebut menunjukkan bahwa besaran luas permukaan media pada SBBGR tidak berpengaruh pada persen removal $\text{NH}_3\text{-N}$ nya. Data selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4. 9 Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal $\text{NH}_3\text{-N}$

Proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm atau biofilter secara garis besar dapat dilakukan dalam kondisi aerobik, anaerobik, atau kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses aerobik dilakukan dengan kondisi adanya oksigen terlarut di dalam reaktor air limbah, dan proses anaerobik dilakukan tanpa adanya oksigen dalam reaktor air limbah.

Sedangkan proses kombinasi anaerob-aerob adalah merupakan gabungan proses anaerobik dan proses aerobik. Proses ini biasanya digunakan untuk menghilangkan kandungan nitrogen di dalam air limbah. Pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi yakni nitrogen ammonium diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) dan pada kondisi anaerobik terjadi proses denitrifikasi yakni nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$).

Sistem biofilm yang terdiri dari medium penyangga, lapisan biofilm yang melekat pada medium, lapisan air limbah dan lapisan udara yang terletak di luar. Senyawa polutan yang ada di dalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD, COD), ammonia, fosfor, dan lainnya akan terdifusi ke dalam lapisan atau film biologis yang

melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut di dalam air limbah senyawa polutan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm dan energy yang dihasilkan akan diubah menjadi biomassa. Suplai oksigen pada lapisan biofilm dapat dilakukan dengan beberapa cara, misalnya pada sistem RBC yakni dengan cara kontak dengan udara luar, pada sistem *trickling filter* dengan aliran balik udara, sedangkan pada sistem biofilter tercelup dengan menggunakan blower udara atau pompa sirkulasi.

Jika lapisan mikroorganisme cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikroorganisme akan berada dalam kondisi aerobik, sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Pada kondisi anaerobik akan terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar maka gas H_2S yang terbentuk tersebut akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada di dalam biofilm.

Selain itu pada zona aerobik nitrogen-ammonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat dan selanjutnya pada zona anaerobik nitrat yang terbentuk mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Oleh karena di dalam sistem biofilm terjadi kondisi anaerobik dan aerobik pada saat yang bersamaan maka dengan sistem tersebut maka proses penghilangan senyawa nitrogen menjadi lebih mudah (Said dan Ineza, 2002).

Karena proses penyisiran NH_3-N pada SBBGR ini sangat bergantung pada ketebalan biofilm dan granular, sehingga sulit ditentukan pengaruhnya secara empiris.

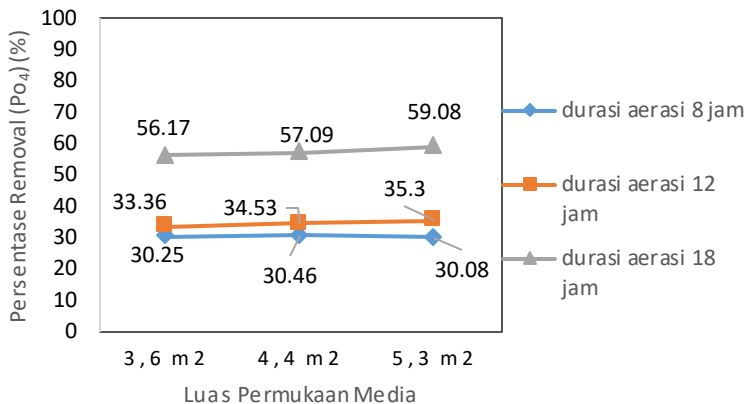
- Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal Fosfat (PO_4)

Selama penelitian masing-masing reaktor SBBGR dioperasikan sebanyak enam kali *running* dan digunakan variasi luas permukaan media yaitu reaktor dengan luas permukaan media $3,6\text{ m}^2$; reaktor dengan luas permukaan media $4,4\text{ m}^2$; dan reaktor dengan luas permukaan media $5,3\text{ m}^2$. Pengaruh luas permukaan

media terhadap removal PO_4 menunjukkan bahwa dengan luas permukaan media $3,6 \text{ m}^2$ menghasilkan persentase removal PO_4 pada rentang 30,25 % - 56,17 %; luas permukaan media $4,4 \text{ m}^2$, menghasilkan persentase removal PO_4 pada rentang 30,46 % - 57,09 %; dan luas permukaan media $5,3 \text{ m}^2$ menghasilkan persentase removal PO_4 pada rentang 30,08 % - 59,08 %.

Berdasarkan data penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin besar luas permukaan media pada SBBGR maka semakin besar juga removal PO_4 . Data selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.10.

Proses penyisihan fosfor secara biologis dikenal sebagai penyisihan fosfor biologis. Penyisihan fosfor pada umumnya terjadi dibawah control eutrofikasi karena fosfor adalah nutrient terbatas yang terdapat pada sebagian besar sistem badan air. Baku mutu effluen yang ditetapkan berkisar dari 0,1 hingga 2,0 mg/L fosfor tergantung pada lokasi instalasi pengolahan dan potensi dampak pada badan air yang menerimanya. Pengolahan kimiawi dengan menggunakan alum atau garam besi adalah teknologi yang paling sering digunakan dalam meremoval fosfor, tetapi sejak awal 1980-an, instalasi pengolahan fosfor secara biologis dalam *full scale* telah mendorong penggunaan teknologi ini lebih jauh. Prinsip kelebihan pada proses penyisihan fosfor secara biologis adalah mengurangi biaya bahan kimia dan lumpur yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan pengolahan kimia dengan presipitasi.



Gambar 4. 10 Pengaruh Luas Permukaan Media terhadap Removal PO_4

Pada penyisihan fosfor secara biologis, fosfor di dalam influen air limbah bergabung menjadi sel biomassa, yang secara bertahap akan tersisih dari proses tersebut sebagai hasil dari limbah lumpur. Organisme pengumpul fosfor (PAOs) akan mendukung pertumbuhan dan mengonsumsi fosfor dalam sistem yang menggunakan suatu konfigurasi reaktor yang menyediakan PAOs dengan kelebihan kompetitif daripada bakteri.

Penyisihan fosfor di dalam sistem pengolahan biologis berdasarkan obeservasi-observasi, yaitu sebagai berikut:

1. Sejumlah bakteri mampu menampung kelebihan sejumlah fosfor sebagai polifosfat di dalam sel nya.
2. Dalam kondisi anaerobik, PAOs akan berasimilasi dengan hasil fermentasi (contoh: asam lemak volatile) menjadi produk penyimpanan diantara sel-sel nya dengan seiring dengan pelepasan fosfor dari cadangan polifosfat.

3. Dalam kondisi aerobik, energi dihasilkan oleh oksidasi dari produk cadangan dan polifosfat beriringan dengan peningkatan sel.

Versi yang lebih sederhana dari proses yang terjadi di dalam reaktor anaerobik dan atau aerobik/anoksik atau seperti zona-zona yang ditampilkan di bawah ini. Dalam banyak aplikasi yang digunakan untuk menyisihkan fosfor, suatu reaktor anoksik mengikuti reaktor anaerobik dan sebelumnya merupakan reaktor aerobik. Sebagian besar PAOs dapat menggunakan nitrit di tempat oksigen teroksidasi menjadi sumber karbon cadangan nya.

Proses yang terjadi di dalam Zona Anaerobik

- Asetat dihasilkan oleh fermentasi dari COD terlarut yang mudah terdegradasi melarutkan senyawa organik degradable yang dapat berasimilasi dengan biomass secara mudah. Bergantung kepada nilai dari T untuk zona aerobik, sebagian COD terlarut dan sebagian COD partikulat juga ikut terhidrolisis dan terkonversi menjadi asetat, tetapi sejumlah kecil COD tersebut tergolong sedikit jika dibandingkan dengan konversi COD terlarut yang mudah terdegradasi.
- Dengan menggunakan energi yang tersedia dari cadangan polifosfat, PAOs mengasimilasi asetat dan menghasilkan cadangan produk berupa intraseluler polihidroksibutirat (PHB). Sebagian glikogen yang terkandung di dalam sel juga digunakan. Seiring dengan pengambilan asetat terjadi pelepasan ortofosfat (PO_4), begitu juga dengan magnesium, kalium, dan kalsium.
- Kandungan PHB di dalam PAOs meningkat sedangkan kandungan polifosfat menurun.

Proses yang terjadi di dalam Zona Anaerobik

- PHB cadangan bermetabolisme, menyediakan energi dari oksidasi dan karbon untuk pertumbuhan sel baru.
- Sebagian glikogen dihasilkan dari metabolisme PHB

- Energi yang dihasilkan dari oksidasi PHB digunakan untuk membentuk ikatan polifosfat dalam sel cadangan sehingga ortofosfat terlarut tersisih dari larutan dan bergabung menjadi polifosfat di dalam sel bakteri. Pertumbuhan sel juga terjadi karena penggunaan PHB dan biomassa baru dengan cadangan polifosfat yang tinggi yang dihitung sebagai removal/penyisihan fosfor.
- Sejumlah biomassa dihasilkan, fosfor cadangan tersisih dari reaktor pengolahan biologis dengan pembuangan utama dengan limbah lumpur

Fosfor merupakan senyawa penting yang berperan dalam mekanisme transfer energi seluler melalui adenosin trifosfat (ATP) dan polifosfat. Sebagai energi yang dihasilkan di dalam reaksi reduksi oksidasi. Adenosine difosfat (ADP) dikonversikan menjadi ATP dengan 7,4 kcal/mol dari energi yang berada dalam ikatan fosfat. Sebagaimana sel menggunakan energi, ATP dikonversikan menjadi ADP dengan penyisihan fosfor. Pada umumnya, bakteri heterotropik dalam lumpur aktif, tipikal komposisi fosfor nya adalah 1,5 sampai 2,0 persen. Bagaimanapun, ada beberapa bakteri yang dapat menyimpan kandungan fosfor di dalam sel nya berbentuk polifosfat dengan energi sangat tinggi, yang menghasilkan kandungan fosfor sebesar 20 – 30 % dari berat kerit. Polifosfat juga terkandung di dalam granul volutin diantara sel bersama dengan Mg^{2+} , Ca^{2+} dan kation K^{+} .

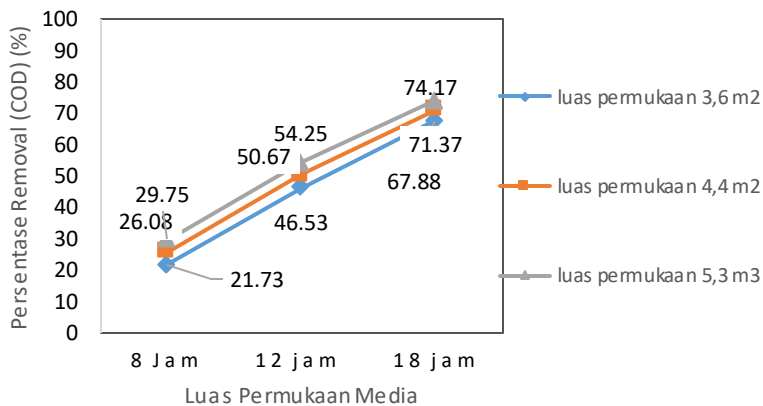
4.3.3 Pengaruh Durasi Aerasi terhadap Removal Konsentrasi Organik (COD), Nitrogen Amonia (NH_3-N), dan Fosfat (PO_4)

- Pengaruh Durasi Aerasi terhadap Removal Konsentrasi Organik (COD)

Selama penelitian masing-masing reaktor SBBGR dioperasikan sebanyak enam kali *running* dan digunakan variasi durasi aerasi yaitu reaktor dengan durasi aerasi 8 jam; reaktor dengan durasi aerasi 12 jam; dan reaktor dengan durasi aerasi 18 jam. Pengaruh

durasi aerasi terhadap removal COD menunjukkan bahwa dengan durasi aerasi 8 jam menghasilkan removal COD pada rentang 21,73 % - 29,75 %; durasi aerasi 12 jam menghasilkan removal COD pada rentang 46,53 % - 54,25 %; durasi aerasi 18 jam menghasilkan removal COD pada rentang 67,88 % - 74,17 %.

Berdasarkan data penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin lama aerasi berlangsung pada SBBGR maka semakin besar juga removal COD. Data selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4. 11 Pengaruh Durasi Aerasi terhadap Removal COD

Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrient yang dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa - senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrien dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami

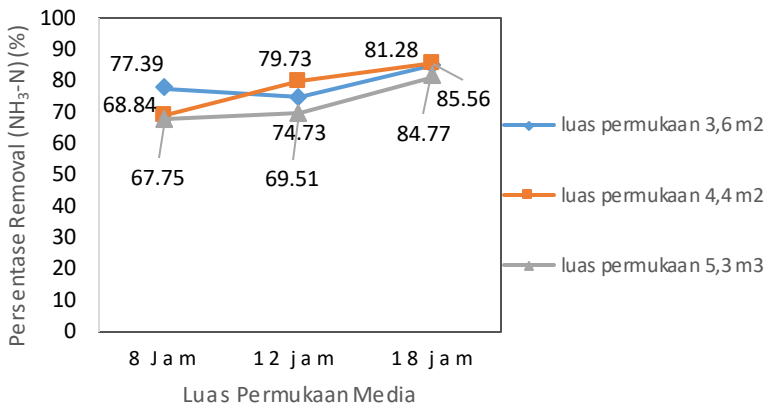
maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga (Maria,2010).

Semakin lama waktu aerasi, maka kadar oksigen terlarut dalam air menjadi semakin tinggi. Hal tersebut dapat disebabkan selama proses aerasi akan terjadi perpindahan oksigen dari udara ke air. aerasi merupakan pengaliran udara ke dalam air untuk meningkatkan kandungan oksigen dengan memancarkan air atau melewatkan gelembung udara ke dalam air. Alat yang digunakan untuk aerasi adalah aerator. Semakin lama proses aerasi, maka semakin banyak oksigen dari udara yang akan terdifusi dalam air, sehingga kadar oksigen terlarut akan bertambah. Kadar oksigen bertambah karena terjadi difusi oksigen dari udara, pada perairan permukaan, kecepatan difusi oksigen dari udara tergantung dari beberapa faktor, seperti kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air dan udara seperti arus, gelombang, dan pasang surut (Salmin,2005).

- Pengaruh Durasi Aerasi terhadap Removal Nitrogen Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)

Selama penelitian masing-masing reaktor SBBGR dioperasikan sebanyak enam kali *running* dan digunakan variasi durasi aerasi yaitu reaktor dengan durasi aerasi 8 jam; reaktor dengan durasi aerasi 12 jam; dan reaktor dengan durasi aerasi 18 jam. Pengaruh durasi aerasi terhadap removal $\text{NH}_3\text{-N}$ menunjukkan bahwa dengan durasi aerasi 8 jam menghasilkan removal $\text{NH}_3\text{-N}$ pada rentang 67,75 % - 77,39 %; durasi aerasi 12 jam menghasilkan removal $\text{NH}_3\text{-N}$ pada rentang 69,51 % - 79,73 %; durasi aerasi 18 jam menghasilkan removal $\text{NH}_3\text{-N}$ pada rentang 81,28 % - 85,56 %.

Berdasarkan data penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin lama aerasi berlangsung pada SBBGR maka semakin besar juga removal $\text{NH}_3\text{-N}$. Data selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4. 12 Pengaruh Durasi Aerasi terhadap Removal $\text{NH}_3\text{-N}$

Limbah rumah sakit memiliki konsentrasi ammonia-nitrogen yang tinggi dapat disebabkan karena hidrolisis dan fermentasi dari fraksi *nitrogeenous organic biodegradable*. Konsentrasi ammonia di dalam limbah rumah sakit yang berasal dari rumah sakit yang berbeda akan menghasilkan konsentrasi ammonium yang juga berbeda. Pada proses aerobik terjadi removal ammonia-nitrogen karena nitrifikasi. Proses nitrifikasi yaitu nitrogen organik yang diubah menjadi nitrat, dengan melibatkan mikroorganisme dalam kondisi aerobik (Suganda dkk, 2014) atau dalam bentuk reaksi total oksidasi seperti berikut:

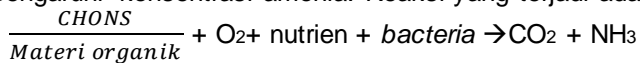


(Metcal dan Eddy, 2003)

Selain itu, removal ammonia nitrogen juga dapat terjadi karena adanya *uptake* oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan sel. Penentuan removal ammonia-nitrogen terbaik dapat dilihat berdasarkan nilai efisiensi removal ammonia karena proses nitrifikasi yang terjadi pada kondisi aerobik. Pada durasi proses aerobik yang semakin lama maka nilai efisiensi removal ammonia karena nitrifikasi akan semakin besar. (Aljumriana, 2015)

Ketika air limbah mengandung banyak organik, maka bakteri heterotrofik akan terbentuk sangat cepat dan menempati permukaan biofilm. Oleh karena itu populasi bakteri nitrifikasi yang sedikit dapat tumbuh dibagian luar permukaan biofilm, yang tidak menguntungkan untuk removal ammonium. Selain itu, kompetisi untuk mendapatkan oksigen antara bakteri nitrifikasi dan bakteri heterotrofik menjadi lebih intensif, karena bakteri heterotrofik menempati permukaan biofilm yang dapat dengan mudah memanfaatkan oksigen sehingga menurunkan kemampuan bakteri nitrifikasi. (Chen dkk., 2008).

Ketidakstabilan efisiensi removal ammonia-nitrogen yang terjadi akibat variasi konsentrasi, dapat disebabkan oleh materi organik yang didegradasi oleh bakteri nitrifikasi tidak stabil, sehingga akan mempengaruhi konsentrasi amonia. Reaksi yang terjadi adalah :

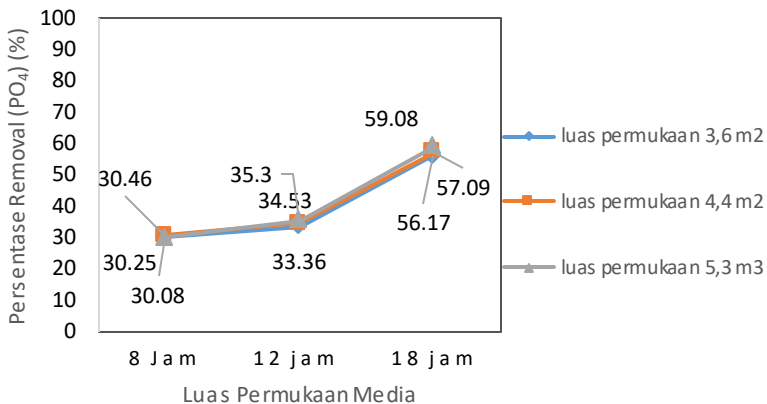


(Gray, 2004; Metcalf dan Eddy, 2003).

- Pengaruh Durasi Aerasi terhadap Removal Fosfat (PO₄)

Selama penelitian masing-masing reaktor SBBGR dioperasikan sebanyak enam kali *running* dan digunakan variasi durasi aerasi yaitu reaktor dengan durasi aerasi 8 jam; reaktor dengan durasi aerasi 12 jam; dan reaktor dengan durasi aerasi 18 jam. Pengaruh durasi aerasi terhadap removal PO₄ menunjukkan bahwa dengan durasi aerasi 8 jam menghasilkan removal PO₄ pada rentang 30,08 % - 30,46 %; durasi aerasi 12 jam menghasilkan removal PO₄ pada rentang 33,36 % - 35,30 %; durasi aerasi 18 jam menghasilkan removal PO₄ pada rentang 56,17 % - 59,08 %.

Berdasarkan data penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin lama aerasi berlangsung pada SBBGR maka semakin besar juga removal PO₄. Data selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4. 13 Pengaruh Durasi Aerasi terhadap Removal PO_4

Penentuan kandungan fosfat dalam suatu perairan sangat penting karena fosfat sebagai nutrient mikroorganisme. Dalam pengolahan limbah fosfor diukur sebagai tanda adanya aktivitas mikroorganisme dalam pengolahan biologis (Sawyer dkk, 1994). Di alam, senyawa fosfat tidak dapat berdiri sendiri, senyawa fosfor membentuk ikatan dengan unsur lain.

Setiap senyawa fosfat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi, atau terikat di dalam sel organisme dalam air. Dalam air limbah senyawa fosfat dapat berasal dari limbah penduduk, industri, dan pertanian.

Limbah cair yang dihasilkan oleh berbagai kegiatan di lingkungan rumah sakit berpotensi mencemari lingkungan jika parameter yang terkandung di dalamnya melebihi baku mutu yang ditentukan. Parameter yang paling sering melebihi baku mutu adalah fosfat (PO_4^{3-}). Fosfat yang melebihi batas 2 mg/L dapat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem perairan. (Nurhayati, E. 2014) Kandungan fosfat yang diukur dalam penelitian ini adalah ortofosfat, yaitu salah satu sumber nutrisi penyebab terjadinya eutrofikasi.

Fosfat sebagai nutrien yang dibutuhkan mikroorganisme saat mendegradasi air limbah, maka akan tersisih. Semakin lama waktu kontak mikroorganisme dengan air limbah, maka semakin banyak juga nutrient fosfat yang terpakai oleh mikroorganisme.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian pengolahan air limbah rumah sakit menggunakan *Sequencing Batch Biofilter Granular Reator* (SBBGR) dengan konsentrasi COD = 296 – 631 mg/L; konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ = 61,2 – 88,1 mg/L; dan konsentrasi PO_4 = 6,8 – 9,3 mg/L) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kinerja *Sequencing Batch Biofilter Granular Reator* (SBBGR) menunjukkan bahwa removal COD dapat mencapai 77,3 %; removal $\text{NH}_3\text{-N}$ mencapai 90,0 %; dan removal PO_4 mencapai 64,6 %;
2. Pengaruh luas permukaan media pada SBBGR
 - Pengaruh luas permukaan media pada SBBGR terhadap removal COD yaitu semakin besar luas permukaan media SBBGR, maka semakin besar pula removal COD. Berdasarkan variasi luas permukaan, rentang removal COD adalah sebesar 29,8 – 74,2 %.
 - Pengaruh luas permukaan media pada SBBGR terhadap removal $\text{NH}_3\text{-N}$ yaitu luas permukaan media SBBGR tidak berpengaruh pada removal $\text{NH}_3\text{-N}$, rentang removal $\text{NH}_3\text{-N}$ adalah sebesar 67,8 – 85,6 %.
 - Pengaruh luas permukaan media pada SBBGR terhadap removal PO_4 yaitu semakin besar luas permukaan media SBBGR, maka semakin besar pula removal PO_4 . Berdasarkan variasi luas permukaan, rentang removal PO_4 sebesar 30,1 – 59,1 %

3. Pengaruh durasi aerasi pada SBBGR
- Pengaruh durasi aerasi pada SBBGR terhadap removal COD yaitu semakin lama durasi aerasi pada SBBGR, maka semakin besar pula removal COD. Berdasarkan variasi durasi aerasi, rentang removal COD adalah sebesar 67,9 – 74,2 %.
 - Pengaruh durasi aerasi pada SBBGR terhadap removal $\text{NH}_3\text{-N}$ yaitu semakin lama durasi aerasi pada SBBGR, maka semakin besar pula removal $\text{NH}_3\text{-N}$. Berdasarkan variasi durasi aerasi, rentang removal $\text{NH}_3\text{-N}$ adalah sebesar 81,3 – 85,6 %.
 - Pengaruh durasi aerasi pada SBBGR terhadap removal PO_4 yaitu semakin lama durasi aerasi pada SBBGR, maka semakin besar pula removal PO_4 . Berdasarkan variasi durasi aerasi, rentang removal $\text{NH}_3\text{-N}$ adalah sebesar 56,2 – 59,1 %.

5.2 Saran

Saran untuk menyempurnakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk pengambilan sampel di waktu-waktu lebih spesifik, agar dapat membuktikan kurva-kurva penurunan konsentrasi dan nutrient.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan media yang berbeda.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai bentuk mikroskopik dari lapisan biofilm dan granular yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, A.D. 2007. *Pengolahan Air Limbah Tahu Menggunakan Bioreaktor Anaerob-Aerob Bermedia Karbon Aktif dengan Variasi Waktu Tinggal*. Jurnal. Universitas Trisakti.
- De Sanctis, M. et al. 2013. *Study of performances, stability, and microbial characterization of a Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor working at low recirculation flow*. *Bioresource technology*, 129, pp.624–8.
- Di Laconi, C. et al. 2002. *Combined chemical and biological degradation of tannery wastewater by a periodic submerged filter (SBBR)*. *Water research*, 36, pp.2205–2214
- Di Laconi, C. et al. 2005. *Aerobic Granular Sludge*. Water and Environmental Management Series. London : IWA Publishing.
- Di Laconi, C. et al. 2010. *SBBGR technology for minimising excess sludge production in biological processes*. *Water research*, 44(6), pp.1825–32.
- Dindra, B.P. dkk. 2012. *Proses Denitrifikasi Aerob Limbah Radioaktif Cair yang Mengandung Asam Nitrat*. TA. Universitas Diponogoro.
- Fongsatitkul. et al. 2008. *Treatment of Four Industrial Wastewaters by Sequencing Batch Reactors: Evaluation of COD, TKN, and TP removal*. *Environmental Technology* 29, 1257-1264.
- Giyatmi. 2003. *Efektivitas pengolahan limbah cair rumah sakit Dokter Sardjito Yogyakarta terhadap pencemaran radioaktif*. Yogyakarta : Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada
- Herlambang, A. 2012. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Sistem Biofilter Anaerob-Aerob*. BPPT .Direktorat Teknologi Lingkungan.
- Kaganer, M.G. dkk. (1967). "Vessels for the storage and transport of liquid oxygen and nitrogen". *Chemical and Petroleum Engineering* 3 (12): 918-922.

- Lotito, A.M. dkk. 2011. *Sequencing Batch Biofilter Granular Reactor for Textile Wastewater Treatment*. New Biotechnology. Research paper 29(1).
- Lotito, A.M. dkk. 2014. *Textile wastewater treatment: aerobic granular sludge vs activated sludge systems*. *Water research*, 54, pp.337–46.
- Maria, Christina. 2010. Petunjuk Praktikum INSKIM "Oksigen Terlarut". Yogyakarta : STTN-BATAN.
- Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. 4th Edition. Singapore: Mc Graw Hill.
- Metcalf and Eddy. 2014. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. 5th Edition. Vol.1. Singapore: Mc Graw Hill.
- Mirwan, A. dkk. 2010. *Penurunan Kadar BOD, COD, TSS, dan CO₂ Air Sungai Martapura Menggunakan Tangki Aerasi Bertingkat*. Kalimantan Scientiae.
- PD PAL JAYA. 1995. *Kualitas Air Buangan Rumah Sakit di Jakarta*.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah
- Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air Presiden Republik Indonesia.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 340/MENKES/PER/II/2010 Tentang Klasifikasi Rumah Sakit
- Said, N.I. dkk. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dengan Sistem Biofilter Anaerob-Aerob*. BPPT .Direktorat Teknologi Lingkungan.

- Said, N.I. dan Ineza. 2002. *Uji Performance Air Limbah Rumah Sakit dengan Proses Biofilter Tercelup*. ISBN: 979-8465-29-6
- Said, N.I dan Ruliasih. 2005. *Mikroorganisme Patogen dan Parasit di Dalam Air Limbah Domestik serta Alternatif Teknologi Pengolahan*. Jurnal. 1(1)
- Salman.2005. Oksigen Terlrut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan.
- Soeparman dan Suparmin. 2002. *Pembuangan Tinja dan Limbah Cair*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Spagni. dkk. 2010. *Treatment of a simulated Textile wastewater containing the azo dye reactive orange 16 in an anaerobic-biofilm anoxic-aerobic membrane bioreactor*. International Biodeterioration and Biodegradation 64 (7), 676-681.
- Sugito dan Komariyah. 2011. *Perencanaan Ipal Biofilter UPTD Kesehatan Puskesmas Gondangwetan Kabupaten Pasuruan*. Jurnal Teknik Vol 09 No 02
- Tim Dosen Teknik Kimia. 2009. *Penuntun Praktikum Kimia Dasar*. Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Tim Laboratorium Teknik Pengolahan Limbah. 2013. *Penuntun Praktikum Teknik Pengolahan Limbah*. Politeknik Negeri Sriwijaya : Palembang.
- Westerterp, K.R. 1987. *Chemical Reactor Design and Operation*. Jhon Wiley & Sons. New York.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

PEMBUATAN REAGEN, KALIBRASI, DAN PROSEDUR ANALISIS

A. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N

Timbang dengan teliti 4,9036 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan di oven. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L.

b. Larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,1 N

Timbang dengan teliti 39,2 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ kemudian tambahkan dengan 8 mL H_2SO_4 pekat. Encerkan dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.

c. Larutan Campuran Asam ($AgSO_4$)

Larutkan 10 gram Ag_2SO_4 ke dalam 1 L H_2SO_4 hingga larut sempurna.

d. Larutan Indikator Ferroin

Larutkan 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

2. Prosedur Analisis

Metode analisis COD dilakukan dengan menggunakan prinsip closed reflux metode titimetrik berdasarkan Greenberg et al. (2005), seperti berikut:

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar CODnya.
- Diambil 1 mL sampel kemudian diencerkan sampai 100 kali.
- Disiapkan 2 buah tabung COD, kemudian dimasukkan sampel yang telah diencerkan sebanyak 1 mL dan aquades sebanyak 1 mL sebagai blanko.
- Larutan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ditambahkan sebanyak 1,5 mL.
- Larutan campuran asam (Ag_2SO_4) ditambahkan sebanyak 3,5 mL.
- Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan tabung COD pada rak tabung COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
- Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan tabung COD dibiarkan hingga dingin.
- Ditambahkan indikator ferroin sebanyak 1 tetes.
- Sampel di dalam tabung COD dipindahkan ke dalam Erlenmeyer kemudian dititrasi menggunakan larutan standard FAS 0,0125 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
- Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$COD \text{ (mg } O_2/L) = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{volume sampel}} \times p$$

dengan:

A = mL FAS titrasi blanko

B = mL FAS titrasi sampel

N = normalitas larutan FAS

P = nilai pengenceran

B. Analisis Nitrogen-Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)

1. Pembuatan Reagen

a. Nessler

Campur dan haluskan 50 gram serbuk HgI_2 dan 35 gram KI kemudian dilarutkan dengan 80 gram NaOH yang sudah dilarutkan dengan aquades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatannya.

b. Garam Signet

Larutkan 50 gram K.Na.Tatrat ke dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.

c. Larutan Standar Amonium (100 ppm atau 100 mg/L)

Timbang dengan teliti 382,14 mg NH_4Cl kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L. Ditambahkan 3 tetes toluen sebagai pengawet.

2. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrogen amonia.

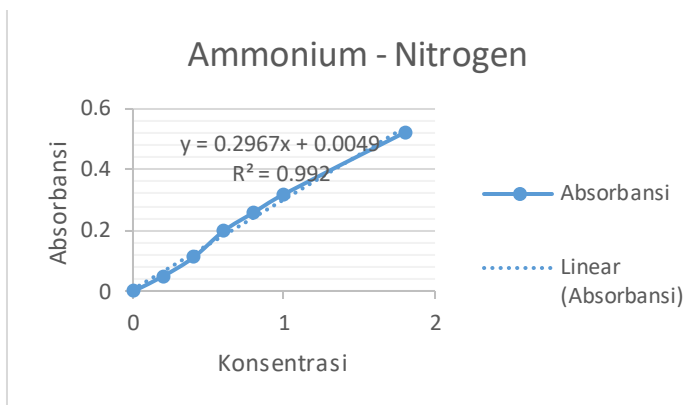
a. Penentuan Panjang Gelombang Analisis Ammonia-Nitrogen

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
385	0.208
386	0.224
387	0.222
388	0.217
389	0.215
390	0.213

395	0.197
400	0.186
405	0.169

b. Kurva Kalibrasi Analisa Nitrogen Amonia

Digunakan panjang gelombang 386 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.



3. Prosedur Analisis

- Disiapkan sampel yang akan dianalisis kadar amoniannya
- Diambil 25 mL sampel (diencerkan jika sampel terlalu pekat) - Ditambahkan 1 mL larutan nessler
- Ditambahkan 1,25 mL larutan garam signet
- Diaduk dan didiamkan selama ± 10 menit
- Dibaca dengan spektrofotometer $\lambda=386$ nm
- Blanko yang digunakan adalah aquades dengan penambahan reagen seperti pada sampel

C. Analisis Fosfat (PO_4)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan Asam Sulfat 5N

b. Larutan Kalium Antimonil Tataratrat

Larutkan 1,3715 gram kalium antimonil tartarat dengan 400 ml aquades dalam labu ukur 500 ml. kemudian tambahkan aquades hingga tepat tanda tera dan dihomogenkan.

c. Larutan Amonium Molibdate ($(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

Larutkan 20 g ammonium molibdate dalam 500 ml aquades dan dihomogenkan.

d. Larutan Asam Askorbat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) 0,1 N

Larutkan 1,76 g asam askorbat dalam 100 ml air suling.

e. Larutan Campuran

Campurkan secara berturut-turut 50 ml H_2SO_4 5 N, 5 ml larutan kalium antimonil tartarat, 15 ml larutan ammonium molibdate dan 30 ml larutan asam askorbat.

f. Kalium Dihidrogen Fosfat Anhidrat (KH_2PO_4)

2. Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrogen amonia.

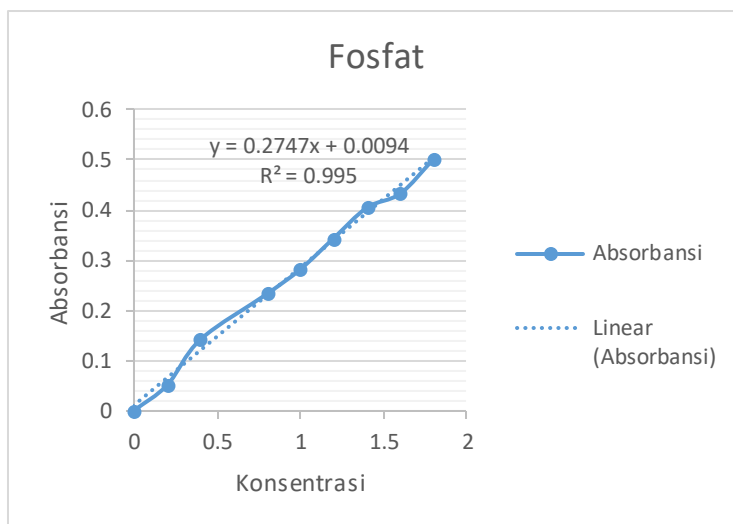
a. Penentuan Panjang Gelombang Analisis Fosfat

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi (A)
685	0.296

690	0.297
695	0.297
696	0.298
697	0.297
698	0.297
699	0.296
700	0.296

b. Kurva Kalibrasi Analisis Fosfat

Digunakan panjang gelombang 696 nm sesuai dengan hasil penentuan panjang gelombang optimum.



3. Prosedur Analisis

- Pipet 50 ml contoh uji secara duplo dan masukkan masing-masing ke dalam Erlenmeyer

- Tambahkan 1 tetes indicator fenolftalin. Jika terbentuk warna merah muda, tambahkan tetes demi tetes H_2SO_4 5 N sampai warna hilang
- Tambahkan 8 ml larutan campuran dan dihomogenkan
- Masukkan ke dalam kuvet pada alat spektrofotometer, baca dan catat serapannya pada panjang gelombang 696 nm dalam kisaran waktu antara 10 menit sampai 30 menit

D. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

1. Pembuatan Reagen

a. Larutan Buffer Fospat

Campur dan larutkan KH_2PO_4 0,85 gram, K_2HPO_4 0,2175 gram, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,334 gram dan NH_4Cl 0,17 gram ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 ml.

b. Larutan MgSO_4

Larutkan 0,225 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100mL.

c. Larutan CaCl_2

Larutkan 0,275 gram CaCl_2 ke dalam 100mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

d. Larutan FeCl_3

Larutkan 0,025 gram $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL. Untuk membuat 1 L air pengencer maka dibutuhkan masing-masing 1 mL larutan Buffer Fospat, MgSO_4 , larutan CaCl_2 , larutan FeCl_3 dan larutan bakteri. Larutan bakteri dapat dibuat dengan mengaerasi 1 spatula (10 gram) tanah subur ke dalam air selama 2 jam.

e. Larutan MnCl_2 20%

Larutkan 20 gram MnCl_2 ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

f. Larutan Pereaksi Oksigen

Campur dan larutkan 40 gram NaOH, 15 gram KI dan 2 gram NaN_3 ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL.

g. Larutan Indikator Amilum 1%

Larutkan 1 gram amilum dengan 100 mL aquades yang sudah dididihkan di dalam labu pengencer 100 mL dan ditambahkan sedikit HgI_2 sebagai pengawet.

h. Larutan Thiosulfat 0,01 N

Larutkan 24,82 gram $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ke dalam 1 L aquades yang telah dididihkan dan didinginkan dengan menggunakan labu pengencer 1 L. Kemudian ditambahkan dengan 1 gram NaOH sebagai buffer.

i. H_2SO_4 pekat

2. Prosedur Analisis

Metode analisis BOD dilakukan dengan menggunakan prinsip winklermetode titimetri berdasarkan Greenberg et al. (2005), seperti berikut:

- Untuk menentukan angka pengencerannya maka dibutuhkan angka KMNO_4 :

$$P = \frac{\text{Angka KMNO}_4}{3 \text{ ATAU } 5 \text{ (tergantung dari pH sampel)}}$$

- Siapkan 1 buah labu pengencer 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan

pengenceran, tambahkan air pengencer hingga batas labu.

- Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
- Tuangkan air dalam labu pengencer tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- Tuangkan air pengencer ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- Bungkus kedua botol winkler 300 mL dengan menggunakan plastik wrap agar kedap udara. Kemudian masukkan kedua botol tersebut ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan MnCl_2 .
 - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen.
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara di dalam botol kemudian dikocok beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama \pm 10 menit.
 - Tambahkan 1 mL H_2SO_4 pekat, tutup dan kocok kembali.
 - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam Erlenmeyer 250 mL
 - Tambahkan 3 tetes indikator amilum.
 - Titration dengan larutan Natrium Thiosulfat 0.0125 N sampai warna biru hilang.
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam winkler 300 mL seperti analisis oksigen terlarut.
- Hitung oksigen terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

- Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$OT \text{ (mg O}_2\text{/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ ml}}$$

$$BOD_{5^{20}} \text{ (mg O}_2\text{/L)} = \frac{((x_0 - x_5) \times N \times 8000}{p}$$

$$P = \frac{\text{ml sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 ml)}}$$

dengan:

- X0 = oksigen terlarut sampel pada t = 0
- X5 = oksigen terlarut sampel pada t = 5 B0 = oksigen terlarut blanko pada t = 0
- B5 = oksigen terlarut blanko pada t = 5
- P = derajat pengenceran
- a = volume titran (mL)
- N = Normalitas Natrium Thiosulfat

E. Analisis MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*)

1. Prosedur Analisis

Teknik analisis MLSS dalam penelitian ini menggunakan metode gravimetri berdasarkan modifikasi dari metode analisis TSS pada Greenberg et al. (2005) seperti berikut:

- Cawan porselin dipanaskan pada furnace dengan suhu 550°C selama 1 jam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
- Disiapkan kertas saring dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.

- Kertas saring dan cawan dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan dan kertas saring ditimbang bersamaan dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan cawan dicatat sebagai a (mg), dan hasil penimbangan kertas saring dicatat sebagai b (mg).
- Kertas saring yang telah ditimbang, diletakkan pada vacuum filter.
- Sampel disaring dengan menggunakan vacuum filter yang telah dipasang kertas saring yang telah ditimbang. Sampel disaring hingga kering. Dicatat volume sampel yang disaring sebagai c (mL).
- Diambil kertas saring yang telah digunakan pada langkah 6 kemudian diletakkan pada cawan yang sama dengan yang digunakan pada langkah 4.
- Cawan yang berisi kertas saring dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 1 jam.
- Cawan yang berisi kertas saring dipindahkan ke dalam desikator selama 15 menit.
- Cawan yang berisi kertas saring ditimbang dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan dicatat sebagai d (mg).
- Dilakukan perhitungan jumlah zat padat tersuspensi (TSS) dalam sampel dengan rumus:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{d(a+b) \times 2000}{c}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B

LAMPIRAN PERHITUNGAN LUAS PERMUKAAN MEDIA BIOBALL

$$\text{Luas permukaan bioball} = A + B$$

dengan :

A: Total luas permukaan kisi

B: Total luas permukaan tampak tengah

➤ **Perhitungan A**

Diketahui:

- (bioball terdiri dari 9 kisi yang masing-masing berbentuk tabung pipih)
- Ilustrasi kisi dapat dilihat pada gambar di bawah ini:
- jari-jari kisi 1 = r_1 = 0,5 cm
- jari-jari kisi 2 = r_2 = 1,0 cm
- jari-jari kisi 3 = r_3 = 1,25 cm
- jari-jari kisi 4 = r_4 = 1,4 cm
- jari-jari kisi 5 = r_5 = 1,5 cm
- jari-jari kisi 6 = r_6 = 1,4 cm
- jari-jari kisi 7 = r_7 = 1,25 cm
- jari-jari kisi 8 = r_8 = 1,0 cm
- jari-jari kisi 9 = r_9 = 0,5 cm
- tinggi kisi = t = 0,1 cm
- π = 3,14

$$\text{Luas permukaan kisi} = \text{Luas permukaan tabung}$$

$$\text{Luas permukaan kisi} = 2 \times \pi \times r (r + t)$$

- Luas permukaan kisi 1
= $2 \times \pi \times r (r + t)$
= $2 \times \pi \times r_1 (r_1 + t)$

- $$= 2 \times \pi \times 0,5\text{cm} (0,5\text{cm} + 0,1\text{cm})$$
- $$= 2,01 \text{ cm}^2$$
- *Luas permukaan kisi 2*

$$= 2 \times \pi \times r (r + t)$$

$$= 2 \times \pi \times r^2 (r^2 + t)$$

$$= 2 \times \pi \times 1,0\text{cm} (1,0\text{cm} + 0,1\text{cm})$$

$$= 7,17 \text{ cm}^2$$
 - *Luas permukaan kisi 3*

$$= 2 \times \pi \times r (r + t)$$

$$= 2 \times \pi \times r^3 (r^3 + t)$$

$$= 2 \times \pi \times 1,25\text{cm} (1,25\text{cm} + 0,1\text{cm})$$

$$= 10,92 \text{ cm}^2$$
 - *Luas permukaan kisi 4*

$$= 2 \times \pi \times r (r + t)$$

$$= 2 \times \pi \times r^4 (r^4 + t)$$

$$= 2 \times \pi \times 1,4\text{cm} (1,4\text{cm} + 0,1\text{cm})$$

$$= 13,55 \text{ cm}^2$$
 - *Luas permukaan kisi 5*

$$= 2 \times \pi \times r (r + t)$$

$$= 2 \times \pi \times r^5 (r^5 + t)$$

$$= 2 \times \pi \times 1,5\text{cm} (1,5\text{cm} + 0,1\text{cm})$$

$$= 15,46 \text{ cm}^2$$
 - *Luas permukaan kisi 6*

$$= 2 \times \pi \times r (r + t)$$

$$= 2 \times \pi \times r^6 (r^6 + t)$$

$$= 2 \times \pi \times 1,4\text{cm} (1,4\text{cm} + 0,1\text{cm})$$

$$= 13,55 \text{ cm}^2$$
 - *Luas permukaan kisi 7*

$$= 2 \times \pi \times r (r + t)$$

$$= 2 \times \pi \times r^7 (r^7 + t)$$

$$= 2 \times \pi \times 1,25\text{cm} (1,25\text{cm} + 0,1\text{cm})$$

$$= 10,92 \text{ cm}^2$$
 - *Luas permukaan kisi 8*

$$= 2 \times \pi \times r (r + t)$$

$$= 2 \times \pi \times r^8 (r^8 + t)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times \pi \times 1,0\text{cm} (1,0\text{cm} + 0,1\text{cm}) \\
 &= 7,17 \text{ cm}^2 \\
 - \text{ Luas permukaan kisi 9} \\
 &= 2 \times \pi \times r (r + t) \\
 &= 2 \times \pi \times r_9 (r_9 + t) \\
 &= 2 \times \pi \times 0,5\text{cm} (0,5\text{cm} + 0,1\text{cm}) \\
 &= 2,01 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

A = Total luas permukaan kisi

$$\begin{aligned}
 &\textbf{Total luas permukaan kisi} \\
 &= \textbf{Luas permukaan kisi 1} + \textbf{Luas permukaan kisi 2} + \\
 &\quad \textbf{Luas permukaan kisi 3} + \textbf{Luas permukaan kisi 4} + \\
 &\quad \textbf{Luas permukaan kisi 5} + \textbf{Luas permukaan kisi 6} + \\
 &\quad \textbf{Luas permukaan kisi 7} + \textbf{Luas permukaan kisi 8} + \\
 &\quad \textbf{Luas permukaan kisi 9} \\
 &= 15,46 \text{ cm}^2 + 7,17 \text{ cm}^2 + 10,92 \text{ cm}^2 + 13,55 \text{ cm}^2 + 15,46 \text{ cm}^2 + \\
 &\quad 13,55 \text{ cm}^2 + 10,92 \text{ cm}^2 + 7,17 \text{ cm}^2 + 2,01 \text{ cm}^2 \\
 &= 82,77 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

➤ **Perhitungan B**

Diketahui:

- sisi = 0,24 cm
- Jumlah persegi = 104 buah

Luas sisi bagian dalam = Luas persegi

Luas persegi = sisi x sisi

$$\text{Luas persegi} = 0,24 \text{ cm} \times 0,24 \text{ cm}$$

$$\text{Luas persegi} = 0,58 \text{ cm}^2$$

B = Total luas permukaan tampak tengah

Total luas persegi = Jumlah persegi x Luas persegi

$$\text{Total luas persegi} = 104 \times \text{Luas persegi}$$

$$\text{Total luas persegi} = 104 \times 0,58 \text{ cm}^2$$

Total luas persegi = 5,99 cm²

➤ **Perhitungan A + B**

Diketahui:

A = Total luas permukaan kisi = 82,77 cm²

B = Total luas permukaan tampak tengah = 5,99 cm²

Luas permukaan bioball = A + B

Total luas permukaan bioball = 82,77 cm² + 5,99 cm²

Total luas permukaan bioball = 88,75 cm²

➤ **Perhitungan Luas Permukaan Media SBBGR 1**

Diketahui:

Volume bioball = 8 L

Jumlah bioball per liter = 50 buah

Jumlah bioball dalam SBBGR 1

= Volume bioball x Jumlah bioball per liter

Jumlah bioball dalam SBBGR 1 = 8 L x 50 buah / L

Jumlah bioball dalam SBBGR 1 = 400 buah

Luas permukaan media SBBGR 1

= Jumlah bioball x luas permukaan bioball

Luas permukaan media SBBGR 1 = 400 buah x 88,75 cm² / buah

Luas permukaan media SBBGR 1 = 35.500 cm² = 3,6 m²

➤ **Perhitungan Luas Permukaan Media SBBGR 2**

Diketahui:

Volume bioball = 10 L

Jumlah bioball per liter = 50 buah

Jumlah bioball dalam SBBGR 2

= Volume bioball x Jumlah bioball per liter

Jumlah bioball dalam SBBGR 2 = 10 L x 50 buah / L

Jumlah bioball dalam SBBGR 2 = 500 buah

Luas permukaan media SBBGR 2

= Jumlah bioball x luas permukaan bioball

Luas permukaan media SBBGR 2 = 500 buah x 88,75 cm² /buah

Luas permukaan media SBBGR 2 = 44.375 cm² = 4,4 m²

➤ **Perhitungan Luas Permukaan Media SBBGR 3**

Diketahui:

Volume bioball = 12 L

Jumlah bioball per liter = 50 buah

Jumlah bioball dalam SBBGR 3

= Volume bioball x Jumlah bioball per liter

Jumlah bioball dalam SBBGR 3 = 12 L x 50 buah / L

Jumlah bioball dalam SBBGR 3 = 600 buah

Luas permukaan media SBBGR 3

= Jumlah bioball x luas permukaan bioball

Luas permukaan media SBBGR 3 = 600 buah x 88,75 cm² /buah

Luas permukaan media SBBGR 3 = 53.250 cm² = 5,3 m²

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C

TABEL-TABEL DATA RAW HASIL ANALISIS LAB

COD Influen (mg/L)	COD Efluen (mg/L) SBBGR 3,6 m ²					
	Durasi aerasi					
	8 jam	rem(%)	12 jam	rem(%)	18 jam	rem(%)
493.42	394.74	20.0	296.05	40.0	118.42	76.0
631.58	394.74	37.5	296.05	53.1	197.37	68.8
453.95	355.26	21.7	256.58	43.5	59.21	87.0
611.84	434.21	29.0	355.26	41.9	217.11	64.5
414.47	276.32	33.3	177.63	57.1	59.21	85.7
296.05	177.63	40.0	118.42	60.0	39.47	86.7

COD Influen (mg/L)	COD Efluen (mg/L) SBBGR 4,4 m ²					
	Durasi aerasi					
	8 jam	rem(%)	12 jam	rem(%)	18 jam	rem(%)
493.42	335.53	32.0	276.32	44.0	78.947	84.00
631.58	434.21	31.3	276.32	56.3	78.947	87.50
453.95	375	17.4	157.89	65.2	59.211	86.96
611.84	414.47	32.3	315.79	48.4	177.63	70.97
414.47	236.84	42.9	138.16	66.7	39.474	90.48
296.05	118.42	60.0	98.684	66.7	19.737	93.33

COD Influen (mg/L)	COD Efluen (mg/L) SBBGR 5,3 m ²					
	Durasi aerasi					
	8 jam	rem(%)	12 jam	rem(%)	18 jam	rem(%)
493.42	453.95	8.0	394.74	20.0	157.89	68.0
631.58	473.68	25.0	315.79	50.0	138.16	78.1
453.95	414.47	8.7	276.32	39.1	78.947	82.6
611.84	513.16	16.1	375.00	38.7	236.84	61.3
414.47	296.05	28.6	197.37	52.4	78.947	81.0
296.05	157.89	46.7	177.63	40.0	78.947	73.3

Tanggal	Volume Sampel (ml)	fp	Absorbansi (A)	Nilai Ammonium (mg/L)
Influen				
4/12/2017	12.5	100	0.223	73.29
4/13/2017	12.5	100	0.267	88.07
4/14/2017	12.5	100	0.187	61.19
4/15/2017	12.5	100	0.203	66.57
4/16/2017	12.5	100	0.265	87.40
4/17/2017	12.5	100	0.225	73.96

Run	Volume Sampel (ml)	fp	8 jam		12 jam		18 jam	
			(A)	Ammonium (mg/L)	(A)	Ammonium (mg/L)	(A)	Ammonium (mg/L)
Reaktor 1								
1	12.5	100	0.067	20.87	0.157	51.11	0.085	26.92
2	12.5	100	0.045	13.47	0.039	11.46	0.027	7.43
3	12.5	100	0.051	15.49	0.044	13.14	0.035	10.11
4	12.5	100	0.059	18.18	0.05	15.15	0.038	11.12
5	12.5	100	0.049	14.82	0.037	10.79	0.022	5.75
6	12.5	100	0.054	16.50	0.032	9.11	0.019	4.74
Rata-rata				16.55		18.46		11.01
Reaktor 2								
1	12.5	100	0.148	48.08	0.09	28.60	0.053	16.16
2	12.5	100	0.050	15.15	0.044	13.14	0.03	8.43
3	12.5	100	0.058	17.84	0.032	9.11	0.028	7.76
4	12.5	100	0.065	20.19	0.041	12.13	0.042	12.47
5	12.5	100	0.050	15.15	0.038	11.12	0.026	7.09
6	12.5	100	0.065	20.19	0.053	16.16	0.039	11.46

Rata-rata				22.77		15.04		10.56
Reaktor 3								
1	12.5	100	0.163	53.13	0.182	59.51	0.097	30.95
2	12.5	100	0.050	15.15	0.046	13.81	0.031	8.77
3	12.5	100	0.049	14.82	0.039	11.46	0.027	7.43
4	12.5	100	0.066	20.53	0.057	17.51	0.035	10.11
5	12.5	100	0.056	17.17	0.05	15.15	0.044	13.14
6	12.5	100	0.069	21.54	0.057	17.51	0.044	13.14
Rata-rata				23.72		22.49		13.92

Tanggal	Volume Sampel (ml)	Faktor Pengenceran	Absorbansi (A)	Nilai Fosfat (mg/L)
Influen				
4/12/2017	12.5	25	0.098	8.06
4/13/2017	12.5	25	0.111	9.25
4/14/2017	12.5	25	0.099	8.15
4/15/2017	12.5	25	0.096	7.88
4/16/2017	12.5	25	0.110	9.16
4/17/2017	12.5	25	0.084	6.79
Rata-rata				8.22

run	Volume Sampel (ml)	fp	8 jam		12 jam		18 jam	
			Absorbansi (A)	Nilai Fosfat (mg/L)	Absorbansi (A)	Nilai Fosfat (mg/L)	Absorbansi (A)	Nilai Fosfat (mg/L)
Reaktor 3								
1	12.5	25	0.069	5.42	0.066	5.15	0.047	3.42
2	12.5	25	0.083	6.70	0.072	5.70	0.053	3.97
3	12.5	25	0.073	5.79	0.069	5.42	0.043	3.06
4	12.5	25	0.069	5.42	0.065	5.06	0.046	3.33
5	12.5	25	0.082	6.61	0.078	6.24	0.045	3.24
6	12.5	25	0.060	4.61	0.057	4.33	0.043	3.06
Rata-rata				5.73		5.47		3.62
Reaktor 2								
1	12.5	25	0.070	5.52	0.067	5.24	0.045	3.24
2	12.5	25	0.080	6.43	0.076	6.06	0.052	3.88
3	12.5	25	0.073	5.79	0.069	5.42	0.046	3.33
4	12.5	25	0.072	5.70	0.068	5.33	0.047	3.42
5	12.5	25	0.074	5.88	0.07	5.52	0.053	3.97
6	12.5	25	0.063	4.88	0.06	4.61	0.045	3.24

Rata-rata	5.70		5.36		3.51
-----------	------	--	------	--	------

Reaktor 1

1	12.5	25	0.075	5.97	0.072	5.70	0.051	3.79
2	12.5	25	0.079	6.33	0.076	6.06	0.06	4.61
3	12.5	25	0.071	5.61	0.068	5.33	0.051	3.79
4	12.5	25	0.067	5.24	0.065	5.06	0.043	3.06
5	12.5	25	0.080	6.43	0.076	6.06	0.051	3.79
6	12.5	25	0.062	4.79	0.06	4.61	0.039	2.69
Rata-rata				5.73		5.47		3.62

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D

DOKUMENTASI PENELITIAN



Lokasi pengambilan inlet air limbah GDC RSUD Dr. Soetomo



Aklimatisasi



Penyusunan reaktor



Running reaktor



Pengambilan effluen



Penampakan microbial bed

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan putri Serang yang lahir pada 13 September 1994. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2000-2006 di SDN Cikande Permai. Setelah itu, dilanjutkan di SMPN 1 Cikande pada tahun 2006-2009 dan SMAN Cahaya Madani Banten Boarding School pada tahun 2009-2012. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS Surabaya pada tahun 2013-2017 yang terdaftar dengan NRP 3313 100 083. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di dalam organisasi kemahasiswaan sebagai staf Departemen Dalam Negeri Society of Petroleum Engineers Student Chapter (SPE ITS SC) periode 2015/2016 dan menjadi staf Divisi Kesehatan dan Lingkungan Gerakan Melukis Harapan (GMH) periode 2015/2016. Selain itu, penulis juga aktif menjadi panitia di berbagai kegiatan HMTL maupun ITS dan aktif sebagai asisten praktikum di beberapa mata kuliah. Penulis berkesempatan menjalankan Kerja Praktik di PT YTL Jawa Timur (Jawa Power) , Paiton, Probolinggo, Jawa Timur untuk melakukan analisis kinerja *SewageTreatment Plant* di *Operating Housing Complex* (OHC) PT YTL Jawa Timur. Penulis dapat dihubungi via email nadyaessa11@gmail.com.